

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicants: Steffen GUTMANN et al.

International Application No.: PCT/JP03/10651

International Filing Date: August 22, 2003

For: APPARATUS AND METHOD FOR IDENTIFYING
ENVIRONMENT AND ROBOT APPARATUS

745 Fifth Avenue
New York, NY 10151

EXPRESS MAIL

Mailing Label Number: EV375019689US

Date of Deposit: February 24, 2005

I hereby certify that this paper or fee is being deposited with the United States Postal Service "Express Mail Post Office to Addressee" Service under 37 CFR 1.10 on the date indicated above and is addressed to Mail Stop PCT, Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

Adam Ahmed
(Typed or printed name of person mailing paper or fee)

A. Ahmed
(Signature of person mailing paper or fee)

CLAIM OF PRIORITY UNDER 37 C.F.R. § 1.78(a)(2)

Mail Stop PCT
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Pursuant to 35 U.S.C. 119, this application is entitled to a claim of priority to Japan
Application No. 2002-245614 filed 26 August 2002.

Respectfully submitted,

FROMMER LAWRENCE & HAUG LLP
Attorneys for Applicants

By: William S. Frommer
William S. Frommer
Reg. No. 25,506
Tel. (212) 588-0800

10/525431
PCT/JP03/10651
22.08.03
24 FEB 2005

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

REC'D	12 SEP 2003
WIPO	PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application:

2002年 8月26日

出 願 番 号
Application Number:

特願2002-245614

[ST.10/C]:

[JP2002-245614]

出 願 人
Applicant(s):

ソニー株式会社

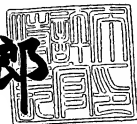
**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1 (a) OR (b)

2003年 6月 2日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



Best Available Copy 出証番号 出証特2003-3041891

【書類名】 特許願

【整理番号】 0290415705

【提出日】 平成14年 8月26日

【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿

【国際特許分類】 B25J 9/00

【発明者】

【住所又は居所】 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社
内

【氏名】 ステフェン・グットマン

【発明者】

【住所又は居所】 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社
内

【氏名】 福地 正樹

【特許出願人】

【識別番号】 000002185

【氏名又は名称】 ソニー株式会社

【代理人】

【識別番号】 100067736

【弁理士】

【氏名又は名称】 小池 晃

【選任した代理人】

【識別番号】 100086335

【弁理士】

【氏名又は名称】 田村 榮一

【選任した代理人】

【識別番号】 100096677

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊賀 誠司

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 019530

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9707387

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 環境同定装置、環境同定方法、プログラム及び記録媒体、並びにロボット装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 ランドマークが配置された環境内を移動体が移動して該環境を同定する環境同定装置であって、

上記現在の環境内の上記ランドマークの観測結果及び上記移動体の移動状態量に基づき、1以上のランドマークにより一意に特定可能な環境の環境地図を構築する環境地図構築手段と、

1以上のランドマークにより一意に特定可能な環境の環境地図が登録済環境地図として記憶された環境地図記憶手段と、

上記環境地図記憶手段に記憶されている上記登録済環境地図と、上記環境地図構築手段により構築された現在の環境地図とを比較して、上記現在の環境が上記登録済環境地図が示す環境であるか否かを判定する環境同定手段とを有することを特徴とする環境同定装置。

【請求項2】 上記環境地図記憶手段には、複数の上記登録済環境地図が記憶されている

ことを特徴とする請求項1記載の環境同定装置。

【請求項3】 上記登録済環境地図は、上記環境地図構築手段により構築された環境地図である

ことを特徴とする請求項1記載の環境同定装置。

【請求項4】 上記環境地図は、上記ランドマークの位置情報を有し、上記環境地図記憶手段は、上記環境地図と共に該環境を識別する環境識別情報を記憶する

ことを特徴とする請求項1記載の環境同定装置。

【請求項5】 上記環境同定手段は、上記現在の環境地図と上記登録済環境地図との類似度を算出し、該類似度に基づき現在の環境を同定する

ことを特徴とする請求項4記載の環境同定装置。

【請求項6】 上記環境同定手段は、上記現在の環境地図と上記登録済環境地

図との類似度が所定の閾値以上であるとき、上記現在の環境を当該登録環境地図が示す環境であると判定して該登録環境地図の上記環境識別情報を出力することを特徴とする請求項5記載の環境同定装置。

【請求項7】 上記環境同定手段は、上記現在の環境地図と上記登録環境地図との類似度が所定の閾値未満であるとき、該現在の環境地図を上記環境地図記憶手段に追加する追加手段を有する

ことを特徴とする請求項5記載の環境同定装置。

【請求項8】 上記一意に特定可能な環境内を探索する探索手段を有する

ことを特徴とする請求項1記載の環境同定装置。

【請求項9】 上記探索手段の上記環境内の探索を終了するよう制御する探索終了制御手段を有する

ことを特徴とする請求項8記載の環境同定装置。

【請求項10】 上記探索終了制御手段は、上記一意に特定可能な環境内に所定数のランドマークが観測されたとき、探索開始から所定期間経過したとき、又は上記移動体をコントロールする使用者により上記環境内の探索を終了するよう指示されたときに上記探索手段の探索を終了する

ことを特徴とする請求項9記載の環境同定装置。

【請求項11】 上記一意に特定可能な環境は、所定数のランドマークを有する

ことを特徴とする請求項1記載の環境同定装置。

【請求項12】 上記ランドマークは、上記一意に特定可能な環境内に一意に特定可能なものである

ことを特徴とする請求項1記載の環境同定装置。

【請求項13】 上記ランドマークは、異なる形状及び／又は異なる色の複数の幾何学パターンが組み合わされたものである

ことを特徴とする請求項1記載の環境同定装置。

【請求項14】 上記環境地図は、上記ランドマークの位置情報と共に上記ランドマークの方向を示す情報を有する

ことを特徴とする請求項13記載の環境同定装置。

【請求項 15】 上記移動体の移動状態量は、該移動体の姿勢方向及び位置を示すものである

ことを特徴とする請求項 1 記載の環境同定装置。

【請求項 16】 上記移動体は、供給された入力情報に基づいて動作を行う自律型のロボット装置である

ことを特徴とする請求項 1 記載の環境同定装置。

【請求項 17】 ランドマークが配置された環境内を移動体が移動して該環境を同定する環境同定方法であって、

上記現在の環境内の上記ランドマークの観測結果及び上記移動体の移動状態量に基づき、1 以上のランドマークにより一意に特定可能な環境の環境地図を構築する環境地図構築工程と、

記憶手段に登録済環境地図として記憶された 1 以上のランドマークにより一意に特定可能な環境の環境地図と、上記環境地図構築工程にて構築された現在の環境地図とを比較して、上記現在の環境が上記登録済環境地図が示す環境であるか否かを判定する環境同定工程と

を有することを特徴とする環境同定方法。

【請求項 18】 上記記憶手段には、複数の上記登録済環境地図が記憶されている

ことを特徴とする請求項 17 記載の環境同定方法。

【請求項 19】 上記環境地図構築工程にて構築された環境地図を上記登録済環境地図として記憶手段に記憶する記憶工程を有する

ことを特徴とする請求項 17 記載の環境同定方法。

【請求項 20】 上記環境地図は、上記ランドマークの位置情報を有し、上記記憶手段には、上記環境地図と共に該環境を識別する環境識別情報が記憶されている

ことを特徴とする請求項 17 記載の環境同定方法。

【請求項 21】 上記環境同定工程では、上記現在の環境地図と上記登録済環境地図との類似度が算出され、該類似度に基づき現在の環境が同定される

ことを特徴とする請求項 20 記載の環境同定方法。

【請求項 22】 上記環境同定工程では、上記現在の環境地図と上記登録済環境地図との類似度が所定の閾値以上であるとき、上記現在の環境を当該登録済環境地図が示す環境であると同定して該登録済環境地図の上記環境識別情報が出力される

ことを特徴とする請求項 21 記載の環境同定方法。

【請求項 23】 上記環境同定工程では、上記現在の環境地図と上記登録済環境地図との類似度が所定の閾値未満であるとき、該現在の環境地図が上記記憶手段に追加される

ことを特徴とする請求項 21 記載の環境同定方法。

【請求項 24】 上記一意に特定可能な環境内を探索する探索工程を有することを特徴とする請求項 17 記載の環境同定方法。

【請求項 25】 上記探索工程では、上記一意に特定可能な環境内にて所定数のランドマークが観測されたとき、探索開始から所定期間経過したとき、又は上記移動体をコントロールする使用者により上記環境内の探索を終了するよう指示されたときに探索が終了される

ことを特徴とする請求項 24 記載の環境同定方法。

【請求項 26】 ランドマークが配置された環境内を移動体が移動して該環境を同定する動作をコンピュータに実行させるためのプログラムであって、

上記現在の環境内の上記ランドマークの観測結果及び上記移動体の移動状態量に基づき、1 以上のランドマークにより一意に特定可能な環境の環境地図を構築する環境地図構築工程と、

記憶手段に登録済環境地図として記憶された 1 以上のランドマークにより一意に特定可能な環境の環境地図と、上記環境地図構築工程にて構築された現在の環境地図とを比較して、上記現在の環境が上記登録済環境地図が示す環境であるか否かを判定する環境同定工程と

を有することを特徴とするプログラム。

【請求項 27】 上記記憶手段には、複数の上記登録済環境地図が記憶されている

ことを特徴とする請求項 26 記載のプログラム。

【請求項 28】 ランドマークが配置された環境内を移動体が移動して該環境を同定する動作をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、

上記現在の環境内の上記ランドマークの観測結果及び上記移動体の移動状態量に基づき、1以上のランドマークにより一意に特定可能な環境の環境地図を構築する環境地図構築工程と、

記憶手段に登録済環境地図として記憶された1以上のランドマークにより一意に特定可能な環境の環境地図と、上記環境地図構築工程にて構築された現在の環境地図とを比較して、上記現在の環境が上記登録済環境地図が示す環境であるかを判定する環境同定工程と

を有することを特徴とするプログラムを記録した記録媒体。

【請求項 29】 上記記憶手段には、複数の上記登録済環境地図が記憶されている

ことを特徴とする請求項 28 記載の記録媒体。

【請求項 30】 ランドマークが配置された環境内を移動するロボット装置であって、

上記環境を同定する環境同定装置を搭載し、

上記環境同定装置は、上記現在の環境内の上記ランドマークの観測結果及び移動状態量に基づき、1以上のランドマークにより一意に特定可能な環境の環境地図を構築する環境地図構築手段と、1以上のランドマークにより一意に特定可能な環境の環境地図が登録済環境地図として記憶された環境地図記憶手段と、上記環境地図記憶手段に記憶されている上記登録済環境地図と、上記環境地図構築手段により構築された現在の環境地図とを比較して、上記現在の環境が上記登録済環境地図が示す環境であるかを判定する環境同定手段とを有する

ことを特徴とするロボット装置。

【請求項 31】 上記記憶手段には、複数の上記登録済環境地図が記憶されている

ことを特徴とする請求項 30 記載のロボット装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、移動体が現在移動している環境を同定する環境同定装置、環境同定方法、プログラム及び記録媒体、並びに環境同定装置を搭載したロボット装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

電氣的又は磁氣的な作用を用いて人間（生物）の動作に似た運動を行う機械装置を「ロボット」という。我が国においてロボットが普及し始めたのは、1960年代末からであるが、その多くは、工場における生産作業の自動化・無人化等を目的としたマニピュレータ及び搬送ロボット等の産業用ロボット（Industrial Robot）であった。

【0003】

最近では、人間のパートナーとして生活を支援する、即ち住環境その他の日常生活上の様々な場面における人的活動を支援する実用ロボットの開発が進められている。このような実用ロボットは、産業用ロボットとは異なり、人間の生活環境の様々な局面において、個々に個性の相違した人間、又は様々な環境への適応方法を自ら学習する能力を備えている。例えば、犬又は猫のように4足歩行の動物の身体メカニズム及びその動作を模した「ペット型」ロボット、或いは、2足直立歩行を行う人間等の身体メカニズム及びその動作をモデルにしてデザインされた「人間型」又は「人間形」ロボット（Humanoid Robot）等のロボット装置は、既に実用化されつつある。

【0004】

これらのロボット装置は、産業用ロボットと比較して、例えばエンターテインメント性を重視した様々な動作等を行うことができるため、エンターテインメントロボットと呼称される場合もある。また、そのようなロボット装置には、外部からの情報及び内部の状態に応じて自律的に動作するものがある。

【0005】

ところで、自律型ロボット装置において、自身の周りの環境を認識して経路計

面を立て、それに応じて移動する能力は言うまでもなく重要である。従来、移動ロボット装置においては、自身が移動する環境を認識するため、その環境全体の地図を保持したり、また、ロボット装置の微小移動又は姿勢の変更に際して環境地図が更新されている。

【0006】

従来、このような環境地図を保持する移動ロボット装置のナビゲーションシステムが米国特許第5363305号明細書 (Navigation system for a mobile robot) に開示されている (以下、従来例という。)。この技術によれば、ロボット装置は、ランドマークが配置された環境の地図を記憶し、環境が変わったとき等に、記憶した環境地図と、現在の環境の観測結果とを比較し、ランドマークが一致した数によりその信頼性を評価する。記憶された環境地図に存在しないランドマークを観測した場合は、その情報を追加して環境地図を更新する。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、従来例に記載の技術は、ある1つの環境を想定し、その一つの環境地図を如何に構築するかに関し、ある1つの環境内のナビゲーション、又は自己位置同定を行うものである。即ち、例えば工場の搬送ロボットや、美術館内の案内ロボットといった限られた環境内での移動を前提としているロボットに有用であるものの、エンターテインメント用のロボット装置としては以下に示す問題点がある。即ち、エンターテインメント用のロボット装置は、その活動の場が家庭環境等であるため、途中で電源が切られる、及び持ち上げられて違う部屋に持っていかれる等、自己位置同定にとって困難な状況が日常的に多々発生する。

【0008】

例えば、東京のあるユーザの家の1階にある部屋A、その2階にある部屋B、及び大阪にある親戚の家の部屋Cがあるとする。ロボット装置は、普段の日中は部屋Aで活動しているが、夜間は部屋Bに運ばれ、更に、夏休みは大阪の部屋Cに運ばれ、そこで活動するものとする。ロボット装置自身が能動的にこれらの部屋A～Cの間を移動することは不可能であるため、例えば電源を切られた状態で搬送される。このような状況で、ロボット装置がこれらの部屋A～Cの間の物理

的關係を獲得することは不可能である。

【0009】

即ち、従来例の方法では、別の部屋に搬送される等して物理的に離れた環境に移動させられた場合、そのままでは自己位置同定を行うことができず、従って、何らかの方法で明示的に環境が変化したことを指定する必要がある。

【0010】

また、もし仮に全ての部屋の間の物理的關係を獲得することが可能で、全てを一つの環境地図で表現できたとすると、常に極めて多くの情報を一度に扱わなくてはいけなくなり、リソースの限られたロボット装置等には不向きであり、計算量の観点から問題が発生してしまう。

【0011】

本発明は、このような従来の実情に鑑みて提案されたものであり、ロボット装置等の移動体における限られた計算リソース及びメモリリソースを考慮し、素早く現在の環境を同定することができ、各々の環境での自己位置同定を行うことができる環境同定装置、環境同定方法、プログラム及び記録媒体、並びに環境同定装置を搭載したロボット装置を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】

上述した目的を達成するために、本発明に係る環境同定装置は、ランドマークが配置された環境内を移動体が移動して該環境を同定する環境同定装置であって、上記現在の環境内の上記ランドマークの観測結果及び上記移動体の移動状態量に基づき、1以上のランドマークにより一意に特定可能な環境の環境地図を構築する環境地図構築手段と、1以上のランドマークにより一意に特定可能な環境の環境地図が登録済環境地図として記憶された環境地図記憶手段と、上記環境地図記憶手段に記憶されている上記登録済環境地図と、上記環境地図構築手段により構築された現在の環境地図とを比較して、上記現在の環境が上記登録済環境地図が示す環境であるか否かを判定する環境同定手段とを有することを特徴とする。

【0013】

また、本発明に係る環境同定方法は、ランドマークが配置された環境内を移動体が移動して該環境を同定する環境同定方法であって、上記現在の環境内の上記ランドマークの観測結果及び上記移動体の移動状態量に基づき、1以上のランドマークにより一意に特定可能な環境の環境地図を構築する環境地図構築工程と、記憶手段に登録済環境地図として記憶された、1以上のランドマークにより一意に特定可能な環境の環境地図と、上記環境地図構築工程にて構築された現在の環境地図とを比較して、上記現在の環境が上記登録済環境地図が示す環境であるか否かを判定する環境同定工程とを有することを特徴とする。

【0014】

また、本発明に係るプログラムは、上述した環境同定処理をコンピュータに実行させるものであり、本発明に係る記録媒体は、そのようなプログラムが記録されたコンピュータ読み取り可能なものである。

【0015】

本発明においては、現在の環境における環境地図を構築する場合、1以上のランドマークにより、一意に特定可能な環境毎の環境地図を構築し、この構築した環境地図を、登録済環境地図と比較して同定する同定手段を有するため、ロボット装置が物理的に離れた複数の環境（例えば、物理的に距離が離れた場所にある部屋Aと部屋B）を素早く識別することができ、環境全てを大きな環境地図によって保持する手法に比べて、計算負荷が少なく、更に異なる環境間の相対的な位置関係を関知する必要がない。また、全てのランドマークを認識しなくても、ある程度の情報から現在の環境を同定することができる。このように、各環境毎に一つの環境地図を構築し、記憶手段に登録された環境地図群との比較をダイナミックに行うことにより、素早く現在の環境を同定することができ、各々の環境での自己位置同定を行うことができる。

【0016】

本発明に係るロボット装置は、ランドマークが配置された環境内を移動するロボット装置であって、上記環境を同定する環境同定装置を搭載し、上記環境同定装置は、上記現在の環境内の上記ランドマークの観測結果及び移動状態量に基づき、1以上のランドマークにより一意に特定可能な環境の環境地図を構築する環

境地図構築手段と、1以上のランドマークにより一意に特定可能な環境の環境地図が登録済環境地図として記憶された環境地図記憶手段と、上記環境地図記憶手段に記憶されている上記登録済環境地図と、上記環境地図構築手段により構築された現在の環境地図とを比較して、上記現在の環境が上記登録済環境地図が示す環境であるか否かを判定する環境同定手段とを有することを特徴とする。

【0017】

本発明においては、ランドマークにより一意に特定可能である範囲を1つの環境とし、この環境を示す環境地図を記憶し、現在の環境と比較して同定することにより、一つ一つのデータ量が小さくてよく、ロボット装置における限られた計算リソース及びメモリリソースを考慮しつつ、現在移動している環境を迅速且つ効率よく同定することができる。

【0018】

【発明の実施の形態】

1. ロボット装置の概要

以下、本発明を適用した具体的な実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。この実施の形態は、本発明を、ランドマークが複数配置され一意に特定可能な環境内を移動するロボット装置が複数の登録済の環境から現在の環境を同定する環境同定装置及びこれを搭載したロボット装置に適用したものである。

【0019】

このような環境同定装置を搭載するロボット装置としては、エンターテインメント用等の例えばヒューマノイド型の2足歩行のロボット装置、及び、4足歩行の動物型ロボット装置等を使用することができる。例えば、2足歩行のロボット装置としては、図1に示すように、ロボット装置1の体幹部ユニット2の所定の位置に頭部ユニット3が連結されると共に、左右2つの腕部ユニット4R/Lと、左右2つの脚部ユニット5R/Lが連結されて構成されるものがある（但し、R及びLの各々は、右及び左の各々を示す接尾辞である。以下において同じ。）また、4足歩行の動物型ロボット装置としては、「犬」を模した形状のいわゆるペットロボットとされる図2に示すようなものがある。このロボット装置11

は、胴体部ユニット12の前後左右にそれぞれ脚部ユニット13A, 13B, 13C, 13Dが連結されると共に、胴体部ユニット12の前端部及び後端部にそれぞれ頭部ユニット14及び尻尾部ユニット15が連結されて構成されている。

【0020】

これらのロボット装置は、何れも頭部ユニットにCCD (charge coupled device) / CMOS (complementary metal-oxide semiconductor) 撮像素子を用いた小型カメラを視覚センサとして有しており、画像処理によりランドマークを検出し、ロボット装置に対する相対的なランドマークの位置を獲得することができる。本実施の形態では、これをランドマークセンサとして使用する。以下、本実施の形態においては、本発明を、ヒューマノイド型の2足歩行のロボット装置に適用した例について説明する。

【0021】

図3は、本発明の実施の形態に係るロボット装置の概略を示すブロック図である。図3に示すように、ロボット装置1の頭部ユニット3には、2台のCCDカメラ200R, 200Lが設けられ、このCCDカメラ200R, 200Lの後段には、ステレオ画像処理部210が設けられている。2台のCCDカメラ（以下、右目200R、左目200Lという。）により撮像された右目画像201R、左目画像201Lは、ステレオ画像処理部210に入力される。ステレオ画像処理部210は、各画像201R, 201Lの視差情報（disparity data）（距離情報）を計算し、カラー画像（YUV：輝度Y、UV色差）202及び視差画像（YDR：輝度Y、視差D、信頼度R）203をフレーム毎に左右交互に算出する。ここで、視差とは、空間中のある点が左目及び右目に写像される点の違いを示し、そのカメラからの距離に応じて変化するものである。

【0022】

このカラー画像202及び視差画像203はロボット装置1の体幹部ユニット2に内蔵されたCPU（制御部）220に入力される。また、ロボット装置1の各関節にはアクチュエータ230が設けられており、CPU220からの指令となる制御信号231が供給されて、その指令値に応じてモータを駆動する。各関節（アクチュエータ）には、ポテンシオメータが取り付けられ、その時のモータ

の回転角がCPUに送られる。このアクチュエータに取り付けられたポテンシオメータ、足底に取り付けられたタッチセンサ及び体幹部に取り付けられたジャイロ・センサ等の各センサ240は、現在の関節角度、設置情報、及び姿勢情報等の現在のロボット装置1の状態を計測し、センサデータ241としてCPU220へ供給される。CPU220は、ステレオ画像処理部210からのカラー画像202及び視差画像203と、アクチュエータの全ての関節角度等のセンサデータ241とが入力され、これらのデータが後述するソフトウェアにより処理され、様々な動作を自律的に行うことが可能となる。

【0023】

図4は、本実施の形態におけるロボット装置を動作させるソフトウェアの構成を示す模式図である。本実施の形態におけるソフトウェアは、オブジェクト単位で構成され、ロボット装置の位置、移動量、周囲の障害物、及び環境地図等を認識し、ロボット装置が最終的に取るべき行動についての行動列を出力する各種認識処理等を行うものである。なお、ロボット装置の位置を示す座標として、例えば、後述するランドマーク等の特定の物体等に基づく所定位置を座標の原点としたワールド基準系のカメラ座標系（以下、絶対座標ともいう。）と、ロボット装置自身を中心（座標の原点）としたロボット中心座標系（以下、相対座標ともいう。）との2つの座標を使用する。

【0024】

オブジェクト同士は、非同期に通信し合うことで、システム全体が動作する。各オブジェクトはメッセージ通信と共有メモリを使用したオブジェクト間通信方法によりデータの受け渡し及びプログラムの起動（Invoke）を行っている。図4に示すように、本実施の形態におけるロボット装置のソフトウェア300は、ロボット装置の移動量を算出する移動量算出手段（キネマティックオドメトリ（Kinematics Odometry））KINE310、環境内の平面を抽出する平面抽出部（Plane Extractor）PLEX320、環境内の障害物を認識する障害物グリッド算出部（Occupancy Grid）OG330、人工的なランドマークを含む環境において、自身のセンサ情報及び移動量算出手段から供給される自身の動作情報によって、ロボット装置の自己位置（位置及び姿勢）を同定するランドマーク位

置検出部 (Landmark Sensor) CLS340、ロボット中心座標を絶対座標に変換する絶対座標算出部 (Localization) LZ350 及びロボット装置の取るべき行動を決定する行動決定部 (Situating behavior Layer) SBL360 から構成され、各オブジェクト単位にて処理がなされる。

【0025】

ここで、ロボット装置が自律的に動作するためには、ロボットが現在おかれている環境を認識する必要がある。本実施の形態においては、まず、ロボット装置が自律的に動作するための各処理のうち、ロボット装置が現在移動している環境を同定するための環境同定装置について説明する。ロボット装置を自律的に動作させる上記ソフトウェアについての詳細な説明、並びにロボット装置の構成及び動作に関する詳細な説明は後述する。

【0026】

2. 環境同定装置

本実施の形態の環境同定装置は、環境内に設置されたランドマークを認識するランドマークセンサを装備したロボット装置（移動体）において、ランドマークの観測に基づき環境地図を構築し、この環境地図を既知の複数の環境地図（登録済環境地図）と比較することによって、ロボット装置が現在置かれている環境を同定するものである。既知の環境地図は、ユーザ等により作成されたものであっても、ロボット装置によって学習されたものであってもよい。環境地図は個々のランドマークの位置（ x , y ）を有しており、環境地図の比較は、現在観測している環境地図のランドマークの位置を既知の環境地図におけるランドマークの位置と比較し、両者の類似性を評価することにより行われる。

【0027】

環境内には、形状・色等が異なる複数種の人工的なランドマークを配置し、ロボット装置はこの環境の中を動き回りながらランドマークを観測し、自分自身の移動量からランドマークの位置を推定する。観測したランドマークの位置情報と、ロボット装置自身の移動量から、環境内のランドマークの相対的な位置関係を推定していく。本実施の形態においては、このランドマークの位置関係を環境地図という。仮に、全く同じ配置のランドマークを有する環境が2つ以上存在しな

いと仮定すると、このランドマークの位置関係によって、その環境を一意に特定することができる。一意に特定可能な環境として、具体的には、形状及び／又は色等により環境内では一意に特定可能な人工的なランドマークを複数配置することにより、一意に特定可能な環境を作成することができる。ロボット装置は、獲得したランドマークの位置関係、即ち環境地図と、環境同定装置の環境地図記憶部に記憶されている過去の環境地図情報群とを比較することによって、ロボット装置が現在置かれている環境を同定することができる。以下、本実施の形態の環境地図構築装置について具体的に説明する。

【0028】

図5は、本発明の実施の形態に係る環境同定装置を示すブロック図である。図5に示すように、本実施の形態の環境同定装置400は、現在の環境内のランドマークの観測結果及びロボット装置自身の移動状態量が供給され、このランドマーク及び移動状態量に基づいて、ロボット装置が現在おかれている環境のランドマーク情報を有する環境地図を構築する環境地図構築部（環境地図構築手段）（Map Building）402と、環境内のランドマークの位置情報とその環境に一意に割り振られる環境IDを一つの組として、複数の環境地図（登録済環境地図）及びその環境IDからなるデータベースを有する環境地図記憶部（環境地図記憶手段）（Database of Environment）403と、環境地図構築部402によって構築される現在ロボット装置が置かれている環境の環境地図と、環境地図記憶部403に記憶された既知の環境地図との類似度を比較することによって、ロボット装置が現在置かれている環境を特定する環境同定部（環境同定手段）（Environment Identification）404と、新しい環境を認識するためにロボット装置を歩き回らせる環境探索部（環境探索手段）（Exploration/Robot Control）405とから構成される。

【0029】

上述したように、図3に示すCCDカメラ200L、200Rによって取り込まれた映像は、ステレオ画像処理部210に入力され、左右画像201R、201Lの視差情報（距離情報）からカラー画像（YUV）202及び視差画像（YDR）203が算出されてCPU220に入力される。また、ロボット装置1に

複数個設けられた各センサからのセンサデータ240が入力される。これらの視差情報及び視差画像からなる画像データ301と、センサデータ302とが移動量算出手段KINEに入力される。

【0030】

移動量算出手段KINEは、画像データ301及びセンサデータ302からなる入力データに基づいてロボット中心座標系の移動量（オドメトリ）を算出する。また、ロボット装置は、自身の姿勢方向を検出し、移動量と共に姿勢方向を示す情報が環境地図構築部402に供給される。また、環境内に配置されたCCDカメラ200L、200Rによって観測されたランドマークのカラー画像（YUV）202及び視差画像（YDR）203が入力されランドマークを認識するランドマーク認識手段（図示せず）から、ランドマークの観測結果（以下、ランドマーク情報という。）411が供給される。環境地図構築部402は、このランドマーク情報411及びロボット装置の移動量及び姿勢方向を示す情報（以下、移動状態量という。）412からなる入力情報からロボット装置が現在置かれている環境地図413を構築し、環境同定部404に供給する。

【0031】

環境同定部404は、ロボット装置が現在置かれている環境、即ち、環境地図構築部402から供給された環境地図413と、環境地図記憶部403に記憶されている複数の既知の環境地図（登録済環境地図）とを比較することによって、ロボット装置が現在置かれている環境を特定する。この既知の環境地図は、上述したように、ユーザ等により作成されたものであっても、環境地図構築部により構築されたものであってもよい。ロボット装置が置かれている現在の環境が、環境地図記憶部403に記憶されている登録済の環境地図に一致した場合は、この登録済の環境地図に対応して記憶されている環境ID（環境識別情報）414を出力する。環境地図記憶部403に記憶されている複数の登録済環境地図と一致した場合は、現在の環境が同定できなかったものとして、不明確（曖昧）であることを示す（ambiguous）信号を出力する。また、環境地図記憶部403に記憶されている登録済の環境地図と一致するものがなかった場合にも現在の環境が同定できなかったものとして、現在の環境が不明であることを示す（unknown）信

号を出力する。

【0032】

環境地図記憶部403は、環境内のランドマークの位置情報、及び環境に一意に割り振られる環境IDが記憶された環境地図データベース（図示せず）を有する。また、環境探索部405は、新しい環境を認識するために、例えば外部からのリモートコントロール等によりロボット装置に環境内を歩き回らせ、環境内のランドマークを認識させるものである。

【0033】

環境地図記憶部403の環境地図データベースには、環境内のランドマークを識別するランドマーク識別情報及び位置情報、並びにこの環境に対応して割り当てられた環境IDが予め入力されていてもよく、又は環境探索部405により、ロボット装置自身が環境地図データベースを作成するようにしてもよい。

【0034】

環境内には、上述したように、形状及び色の違いにより複数種のランドマークを配置し、ロボット装置は、自身に備えられたCCDカメラ等のランドマークセンサにより、ランドマークの色及び形を検出・認識することによって、環境地図の構築、及び環境同定を行うことができる。例えば、決められた個数のランドマークが配置された環境を1つの環境として環境IDを割り付けて管理することで、環境データベースの管理が容易になる。

【0035】

このように、周囲の環境を1つの環境地図で管理するのではなく、一意に特定可能な範囲で分割された複数の環境地図として記憶することにより、1つ1つのデータが小さくなり、データの更新、追加等における計算量を低減することができる。本実施の形態における一意に特定可能な環境は、複数のランドマークを配置し、その配置の仕方等によって一意に特定することができるものである。このとき、ランドマークが1つの環境内に一意に特定可能であると、環境の同定が容易となる。

【0036】

図6(a)は、ロボット装置が環境内を探索している様子を示す模式図、図6

(b)は、本実施の形態におけるランドマークを示す模式図である。図6(a)に示すように、例えば、環境420内の机、柱、又は壁等のランドマーク貼り付け(配置)可能な対象物422a~422eに、人工的な複数種のランドマークLが複数配置され、ロボット装置421は、この環境420の中を歩き回り、CCDカメラ等により獲得したランドマークLの観測と、ロボット装置421自身の位置(x, y, θ)とから、ロボット装置421自身が現在置かれている環境のランドマークLの位置関係を獲得していく。ここで、ロボット装置位置(x, y, θ)は、所定の位置を基準(原点)とした座標系におけるロボット装置の位置(x, y)と、所定の方角Dを基準(0°)としてロボット装置の姿勢方向の角度(θ)とで表現することができる。ロボット装置421は、自身のCCDカメラ及びセンサ等から上述した移動量算出手段により、自身の移動量(dx, dy)及び移動角($d\theta$)を算出することにより、自身の位置(x, y, θ)を把握することができる。

【0037】

ランドマークLは、図6(b)に示すように、例えば、四角形、円形及び三角形の幾何学パターン431~433が所定の配置位置となるよう組み合わせられたもので、その配色により、互いに識別可能なものを使用することができる。環境内には、このような複数種の人工的なランドマークが複数配置され、これにより、環境420が一意に特定可能なものとなっている。ロボット装置421が環境を同定する際は、自身の移動状態量からロボット装置421自身が現在置かれている環境のランドマークの位置関係を獲得し、このランドマークLの種類及びその位置関係を、環境地図記憶部403に記憶されている過去(登録済)の環境地図におけるランドマークLの種類及びその位置と比較することにより、現在の環境が既に登録済の環境であるか否かを判断する。

【0038】

また、現在の環境が登録されていない新しい環境である場合、又は環境地図データベースを作成する場合等は、環境探索部405により、自身の移動量からロボット装置421自身が現在置かれている環境の全てのランドマークの位置関係を獲得し、新たに探索した環境毎に識別可能な例えばEnv1、Env2等の環

境IDを付して、探索した新しい環境内の全てのランドマークLの種類及びその位置関係を、この新しい環境に対応する環境IDと共に環境地図記憶部403に記憶する。

【0039】

2-1. ランドマーク

次に、環境内に配置されるランドマークについて説明する。図7は、ランドマークの一例を示す模式図である。本実施の形態においては、三角、四角、丸の3つの形状の幾何学パターンに赤、青、黄、及び緑の4つの色を使用し、これらの形状及び色を組み合わせることにより、一意に特定可能(unique)な複数種のランドマークを得ることができる。図7は、左に四角形、中央に円形、右に三角形の幾何学パターンを配置し、各パターンの位置関係を固定して配置して、各パターンの色を4色、組み合わせることによって、合計24種類のランドマークを作成した例を示す。このように、複数の幾何学パターンの位置関係及び配色により、異なるランドマークを形成することができる。

【0040】

また、図7においては、例えば、ランドマークL1とランドマークL2とは、四角形、円形、三角形の位置関係は同じであるものの、その配置される位置がわずかに異なる。ロボット装置は、これらの位置の違いも認識することが可能であり、実際には、無数の異なるランドマークを作成し、ロボット装置に認識させることが可能である。ロボット装置は、このような3つの形状パターンを観測した場合にランドマークとして認識するよう設定されているか、又は、使用されるランドマークを予め登録しておくこと等により、ランドマークを観測して識別することができる。また、ロボット装置は、図7に示すようなランドマークの場合は、ランドマークの方向も検出可能であり、ランドマークの位置だけではなくその方向も検出することにより、より少ないランドマークで更に正確に環境を識別して特定することができる。

【0041】

次に、本実施の形態の環境同定装置400の処理の流れを説明する。図8は、本実施の形態の環境同定方法を示すフローチャートである。図8に示すように、

環境地図構築部402にて、先ず、ランドマークを観測、又は、ロボット自身の動作を検出した場合(ステップS1)、環境地図の内部モデルを更新する(ステップS2)。ここで、環境地図は、ロボット装置及びランドマークの状態ベクトル1を使用して下記(1)のように示すものとする。この環境地図及び状態ベクトルについての詳細は後述する。

【0042】

【数1】

(i, Σ_i) : 環境地図

ここで、

i : 状態ベクトル中央値

Σ_i : 状態ベクトルの共分散行列

... (1)

【0043】

この環境地図が環境構築部402から環境同定部404に供給されると、環境同定部404は、環境地図記憶部403の環境データベース406を検索し、この環境地図と最も適合する環境地図とその環境ID(Environment ID)を探し出す(ステップS3)。

【0044】

適合する環境地図及び環境IDが環境データベース406に登録されていた場合(ステップS4:NO)、この環境IDを現在ロボット装置が置かれている環境として出力する(ステップS5)。一方、適合する環境地図及び環境IDがデータベース406に登録されていない場合(ステップS4:YES)、環境探索部405にて環境探索行動中か否かが判断される(ステップS6)。環境探索行動中の場合(ステップS6:YES)、直前に出力した環境IDを現在、ロボット装置が置かれている環境として出力する(ステップS8)。一方、環境探索行動中でない場合、即ち、環境探索を終了している場合(ステップS6:NO)、その環境地図を、新しい環境地図として環境地図記憶部403の環境データベース406に追加する(ステップS7)。

【0045】

ステップS6における探索行動状態は、環境探索部405によって制御され、ロボット装置が環境内の全てのランドマークを訪問したかどうかを検出し(ステップS9)、未だ、その環境内のすべてのランドマークを観測していない場合には、環境探索行動中となる。

【0046】

2-2. 環境地図構築部

次に、図3に示す各処理部について更に詳細に説明する。まず、環境地図構築部402における環境地図構築方法について説明する。環境地図構築部402は、ランドマークの観測情報とロボット装置自身の動作の観測情報(移動状態量)を利用して、ロボット装置が現在置かれている環境の環境地図(Environment Map) Nを構築する。

【0047】

ここで、環境地図構築部402が環境を認識する際に、ランドマークの観測情報及びロボット装置の自身の動作観測情報を利用して環境認識する理由について説明する。なお、図9乃至図11においては、ランドマークLとして図7に示すものとは異なり、外円及び内円からなる円形で、外円と内円とが異なる色を有するパターンをランドマークとして使用した例を示すが、このようなランドマークも色の組み合わせにより、複数種のランドマークを得ることができ、これらを複数組み合わせさせて配置することによって一意に特定可能な環境を形成することができる。

【0048】

例えば、図9に示すように、6つのランドマークLを有する環境の中心位置にロボット装置421が置かれていた場合に、ロボット装置421が向く方向(姿勢方向)を変更すると、ランドマークLの観測結果のみを使用してランドマークの位置を把握しようとする、ロボット装置421には、そのカメラで観測されたランドマークの位置情報が時系列で入力されるため、図10に示すように、自身の移動に伴い、同一のランドマークにおいてもその位置がずれて観測されてしまい、ランドマークの位置を特定することができない。そこで、ロボット装置421のランドマーク観測結果と共にロボット装置421の移動量及び姿勢方向の

移動状態量を考慮することで、図11に示すように、ある程度観測を続けると、同一のランドマークの位置が収束して、環境を認識することができるようになる。

【0049】

ここで、ランドマークの観測情報は、ロボット装置421に備えられたカメラによる観測結果として得ることができ、ロボット装置の移動量及び姿勢方向である移動状態量は、ロボット装置421自身が検出することができるが、これらの情報には、このカメラの観測結果誤差、並びの移動量及び姿勢方向の検出誤差等が含まれる。

【0050】

そこで、本実施の形態は、この環境地図を、ロボットの状態（状態量） l_r と n 個のランドマークの状態（状態量） $l_L = (l_1, l_2, \dots, l_n)^T$ の推定値によって構成される状態ベクトル $l = (l_r, l_1, l_2, \dots, l_n)^T$ によって表現する。また、ロボット装置の状態 l_r はロボット的位置・姿勢を用いて $l_r = (x, y, \theta)^T$ 、各ランドマークの状態 l_i はランドマークの世界座標系における位置を用いて $l_i = (x_i, y_i)$ と表す。

【0051】

そして、これらの状態量を統計的に扱うため、ガウス分布を有する確率密度関数 $p(l)$ によって表現し、環境地図を以下に示す記号によって表すこととする。

【0052】

【数 2】

$$\hat{l} = \begin{pmatrix} \hat{l}_r \\ \hat{l}_1 \\ \vdots \\ \hat{l}_n \end{pmatrix} \quad \Sigma_l = \begin{pmatrix} \Sigma_{rr} & \Sigma_{r1} & \cdots & \Sigma_{rn} \\ \Sigma_{1r} & \Sigma_{11} & \cdots & \Sigma_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Sigma_{nr} & \Sigma_{n1} & \cdots & \Sigma_{nn} \end{pmatrix}$$

$$\hat{l}_r = \begin{pmatrix} \hat{x}_r \\ \hat{y}_r \\ \hat{\theta}_r \end{pmatrix} \quad \hat{l}_i = \begin{pmatrix} \hat{x}_i \\ \hat{y}_i \end{pmatrix} \quad \dots (2)$$

 \hat{l} :状態ベクトルの中央値 Σ_l :状態ベクトルの共分散行列 (\hat{l}, Σ_l) :環境地図 $l_i = (x_i, y_i)$:ランドマークの状態ベクトル $l_r = (x, y, \theta)$:ロボット装置の状態ベクトル

【0053】

ここで、環境地図を求めることは、この状態ベクトル $l = (l_r, l_1, l_2, \dots, l_n)^T$ を同定することであるため、本実施の形態では、この問題を、ロボット装置の動きを入力とし、ランドマークの観測を観測量とする、拡張カルマンフィルタ (Extended Kalman Filter) モデルを用いた状態ベクトル l の同定問題に帰着した。

【0054】

2-2-1. 拡張カルマンフィルタ

以下、拡張カルマンフィルタについて説明する。拡張カルマンフィルタモデルでは、ある状態 l において、ある入力 m を行った場合の理論的な状態遷移を与える関数 (遷移関数) を $F(l, m)$ 、ある状態 l においてある既知の観測情報 o (ランドマークの位置等) の理論値を与える関数 (観測関数) を $H(l)$ 、状態 l 及び観測情報 o へのノイズ成分 (中央値 0 のガウス分布を持つノイズ成分を仮定) を w, v としたときに、状態 l 及び観測情報 o のモデルを下記式 (3)、(4) で表す。

【0055】

【数3】

$$l \leftarrow F(l, m) + w \quad \dots (3)$$

$$o \leftarrow H(l) + v \quad \dots (4)$$

【0056】

図12は、拡張カルマンフィルタ(Extended Kalman Filter)モデルの模式図である。図12に示すモデルにおいて、入力情報 m 、観測情報 o によって状態量 l を更新する更新則について説明する。

【0057】

ある時点での状態 l が、下記(5)、(6)で推定されているものとする。

【0058】

【数4】

$$\hat{l}: \text{中央値} \quad \dots (5)$$

$$\Sigma_l: \text{共分散行列} \quad \dots (6)$$

【0059】

まず、状態 l において、ある入力 m を観測した場合、状態 l の中央値、共分散行列は下記式(7)、(8)により更新する。

【0060】

【数5】

$$\begin{aligned} \hat{l} &\leftarrow F(\hat{l}, \hat{a}) & \dots (7) \\ \Sigma_l &\leftarrow \nabla F_l \Sigma_l \nabla F_l^T + \nabla F_a \Sigma_a \nabla F_a^T & \dots (8) \end{aligned}$$

ここで、

$\nabla F_l: \partial F / \partial l$ によって与えられるヤコビ行列

ここで、

$\nabla F_a: \partial F / \partial a$ によって与えられるヤコビ行列

【0061】

一方、状態1において、ある観測情報 o を観測した場合、状態1の中央値、共分散行列は下記式(9)，(10)により更新する。

【0062】

【数6】

$$\begin{aligned} \hat{I} &\leftarrow \hat{I} + W\hat{v} & \dots (9) \\ \Sigma_i &\leftarrow \Sigma_i - W \Sigma_i W^T & \dots (10) \end{aligned}$$

ここで、

 $W = \Sigma_i \nabla H_i^T \Sigma_i^{-1}$ で与えられるカルマンフィルタゲイン

 $\hat{v} = \delta - H(\hat{I})$ で与えられる観測誤差の中央値

 $\Sigma_i = \Sigma_i - \nabla H_i \Sigma_i \nabla H_i^T$ で与えられる観測誤差の共分散

【0063】

2-2-2. 環境地図更新方法

次に、環境地図を計算する処理の流れを説明する。図13は、環境地図を更新しながら環境地図を構築する方法を示すフローチャートである。環境地図には、初期値が入力されているものとする。ロボット装置自身の動きが観測された場合（ステップS11）、環境地図のロボット装置の状態 1_R を更新する（ステップS12）。また、ランドマークを観測した場合（ステップS13）、観測したランドマークが、現在の環境地図のランドマークの状態 1_L に存在しない新しいランドマークであるかどうかを判断する（ステップS14）。そして、観測されたランドマークが新しいランドマークである場合（ステップS14：YES）、ランドマーク状態 1_L に新しいランドマーク状態 1_{n+1} を追加する（ステップS15）。一方、観測されたランドマークが、新しいランドマークでない場合（ステップS14：NO）、再観測されたランドマークの状態 1_L を更新する（ステップS16）。この処理を繰り返すことによって、環境地図を構築することができる。

【0064】

上記のステップS12，15，16において、即ち、ステップS12において

、ロボット装置が自身の動作を観測したとき、ステップS15において、新規ランドマークを観測したとき、及びステップS16において、ランドマークを再観測したときに環境地図の再計算が行われる。次に、この環境地図の更新方法について詳細に説明する。

【0065】

A. ロボット装置が自身の動作を観測した場合（の動作Robot Motion Observation）

ロボット装置が動作した場合は、拡張カルマンフィルタの入力情報による更新則により、状態ベクトルの中央値、共分散行列を次のように更新する。
観測されたロボット装置の移動量を $m = (x_m, y_m, \theta_m)$ とすると、上述のように、ロボット装置の移動量の観測量も統計的に扱うため、ガウス分布を持つ確率密度関数 $p(m)$ によって下記式(11)のように表現することができる。

【0066】

【数7】

$$p(m) \sim N(\hat{m} = (\hat{x}_m, \hat{y}_m, \hat{\theta}_m)^T, \Sigma_m) \quad \dots (11)$$

ここで、

\hat{m} : 状態量の中央値

Σ_m : 状態量の共分散行列

【0067】

ロボット装置の状態 l_r において、移動量 m の動作を行った後の、ロボット装置の状態 l_r' は、幾何学的に下記式(12)で求めることができる。

【0068】

【数8】

$$l_r' = l_r + R_3(\theta_r)m \quad \dots (12)$$

【0069】

上記式(12)の右辺を関数 $f(1, m)$ とする。 $1_L = (1_1, 1_2, \dots, 1_n)^T$ ロボットの動きによって、ランドマークの状態は影響を受けないので、環境地図の状態ベクトル $1 = (1_r, 1_1, 1_2, \dots, 1_n)^T$ は、変更されない。従って、状態ベクトル 1 の中央値は、下記式(13)となり、共分散行列は、下記式(14)となる。これらの計算にかかる計算コストは $O(n)$ である。

[0070]

【数9】

$$\hat{1} \leftarrow f(\hat{1}, \hat{m}) = \begin{pmatrix} f(\hat{1}_r, \hat{m}) \\ \hat{1}_1 \\ \vdots \\ \hat{1}_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{1}_r + R_2(\hat{\theta}_r)\hat{m} \\ \hat{1}_1 \\ \vdots \\ \hat{1}_n \end{pmatrix} \quad \dots (13)$$

$$\Sigma_1 \leftarrow \begin{pmatrix} \nabla f_r \Sigma_{rr} \nabla f_r^T + \nabla f_m \Sigma_{mm} \nabla f_m^T & \nabla f_r \Sigma_{r1} & \dots & \nabla f_r \Sigma_{rn1} \\ \Sigma_{1r} \nabla f_r^T & \Sigma_{11} & \dots & \Sigma_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Sigma_{nr} \nabla f_r^T & \Sigma_{n1} & \dots & \Sigma_{nn} \end{pmatrix} \quad \dots (14)$$

ここで、

$\nabla f_r: \frac{\partial f}{\partial r}$ によって得られるヤコビアン

$\nabla f_m: \frac{\partial f}{\partial m}$ によって得られるヤコビアン

[0071]

B. 新規ランドマークを観測した場合 (New Landmark Observation)

新しいランドマークを観測した場合、拡張カルマンフィルタの入力情報による更新則により、状態ベクトル 1 の中央値、状態ベクトルの中央値、共分散行列を次のように再計算することで、環境地図を更新する。

[0072]

新しく観測されたランドマークのロボット装置からの相対的な位置を $o = (x, y)$ とすると、前述のように、ランドマークの位置の観測量も統計的に扱うため、ガウス分布を持つ下記式(15)に示す確率密度関数 $p(o)$ によって表現

する。

【0073】

【数10】

$$p(o) \sim N(\hat{o} = (\hat{x}_o, \hat{y}_o)^T, \Sigma_o) \quad \dots (15)$$

ここで、

\hat{o} :状態量の中央値

Σ_o :状態量の共分散行列

【0074】

ロボットの状態 $l_r = (x, y, \theta)^T$ において、新しいランドマーク $o = (x, y)$ を観測した場合、ランドマークの世界座標系での位置 l_i は、幾何学的に下記式(16)で求めることができる。

【0075】

【数11】

$$l_i = (x_o, y_o)^T + R(\theta_o)(x, y)^T \quad \dots (16)$$

【0076】

上式の右辺を関数 $g(l, o)$ とする。新しいランドマークの観測によって、ロボットの状態 l_r と既知のランドマークの状態 $l_L = (l_1, l_2, \dots, l_n)^T$ は影響を受けない。ランドマークの状態に新たに l_{n+1} を追加する。従って、状態ベクトル l の中央値は、下記式(17)となり、共分散行列は下記式(18)となる。これらの計算にかかる計算コストは $O(n)$ である。

【0077】

【数12】

$$\hat{i} \leftarrow \begin{pmatrix} \hat{i} \\ g(l, o) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{i} \\ (\hat{x}_r, \hat{y}_r)^T + R(\hat{\theta}_r) \hat{o} \end{pmatrix} \quad \dots (17)$$

$$\Sigma_i \leftarrow \begin{pmatrix} \Sigma_{rr} & \Sigma_{r1} & \dots & \Sigma_{rn} & \Sigma_{rr} \nabla g_r^T \\ \Sigma_{1r} & \Sigma_{11} & \dots & \Sigma_{1n} & \Sigma_{1r} \nabla g_r^T \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \Sigma_{nr} & \Sigma_{n1} & \dots & \Sigma_{nn} & \Sigma_{nr} \nabla g_r^T \\ \nabla g_r \Sigma_{rr} & \nabla g_r \Sigma_{r1} & \dots & \nabla g_r \Sigma_{rn} & \nabla g_r \Sigma_{rr} \nabla g_r^T + \nabla g_o \Sigma_o \nabla g_o^T \end{pmatrix} \quad \dots (18)$$

ここで、

 $\nabla g_r := \frac{\partial g}{\partial r}$ によって得られるヤコビアン

 $\nabla g_o := \frac{\partial g}{\partial o}$ によって得られるヤコビアン

【0078】

C. ランドマークの再観測 (Landmark Re-Observation)

既知のランドマークを再観測した場合、拡張カルマンフィルタの出力情報による更新則により、状態ベクトル1の中央値、共分散行列を次のように再計算することで、環境地図を更新する。

【0079】

まず、再観測されたランドマークのロボット装置からの相対的な位置を $o = (x_i, y_i)$ となると、前述のように、ランドマークの位置の観測量も統計的に扱ったため、ガウス分布を有する下記式(19)に示す確率密度関数 $p(o)$ によって表現することができる。

【0080】

【数 13】

$$p(o) \sim N(\hat{o}, \Sigma_o)$$

... (19)

ここで、

 \hat{o} : 状態量の中央値 Σ_o : 状態量の共分散行列

【0081】

次に、拡張カルマンフィルタの出力情報による更新則により、以下のように過程すると、状態量及び共分散行列は夫々下記式(20)、(21)で更新される。

【0082】

【数 14】

$$v = \hat{o} - \bar{o}$$

$$\Sigma_v = \nabla h_i \Sigma_i \nabla h_i^T + \Sigma_o$$

$$W = \Sigma_i \nabla h_i^T \Sigma_v^{-1}$$

$W: W = \Sigma_i \nabla h_i^T \Sigma_v^{-1}$ で与えられるカルマンフィルタゲイン

$\hat{v}: \hat{v} = \hat{o} - H(\hat{i})$ で与えられる観測誤差の中央値

$\Sigma_v: \Sigma_v = \Sigma_o + \nabla h_i \Sigma_i \nabla h_i^T$ で与えられる観測誤差の共分散行列

$$\hat{i} \leftarrow \hat{i} + W \cdot \dots (20)$$

$$\Sigma_i \leftarrow \Sigma_i - W \Sigma_v W^T$$

... (21)

【0083】

ここで、ある状態におけるランドマークの状態 l_i の観測値の理論値は、幾何学的に下記式(22)により求めることができる。この計算コストは $O(n^2)$ である。

【0084】

【数15】

$$\vec{o} = h(\hat{i}) = R(-\hat{\theta}_r) \begin{pmatrix} \hat{x}_i - \hat{x}_r \\ \hat{y}_i - \hat{y}_r \end{pmatrix} \quad \dots (22)$$

\vec{o} : ある状態 \hat{i} におけるランドマーク l_i の観測値の理論値

【0085】

2-2-3. 環境地図構築例

図14及び図15は、ロボット装置が環境内を歩き回ってランドマークの位置を観測して構築した環境地図を示す図である。図14は、同一形状（外円及び内円からなる）ランドマークを使用した場合であり、図15は、図7に示す異なる形状の幾何学パターンを組み合わせて得られるランドマークを使用した場合を示す。

【0086】

図14に示す環境440において、 $L11_1 \sim L11_6$ は、本来のランドマークの配置位置を示している。このようなランドマーク $L11_1 \sim L11_6$ が配置された環境440内の各ランドマークを観測し、ロボット装置421が上述の方法によりランドマーク位置を推定した結果、得られたランドマーク位置を $L12_1 \sim L12_6$ に示す。この推定誤差は10cm程度であった。

【0087】

また、図15に示す環境450においても、図14の場合と同様に、ほぼ正確に環境内のランドマーク位置を推定することができる。また、図15に示すように、図7に示すような異なる形状の幾何学パターンを組み合わせたランドマークを使用すると、円形の場合と異なり、そのランドマークが向く方向も検出することができ、ロボット装置421は、より精度が高い環境地図を構築することができる。

【0088】

2-3. 環境同定部 (Environment Identification)

次に、環境同定部404の環境同定方法について説明する。環境同定部404

では、環境地図構築部402から得られる環境地図(map)を、環境地図記憶部403の環境地図データベース406の環境地図(登録済環境地図)と比較することによって、ロボット装置が現在置かれている場所を同定する。図16は、環境同定部404の環境同定方法を示すフローチャートである。

【0089】

まず、環境地図が入力されると、その環境地図内のランドマークの数が、例えば2つ等、環境内のランドマークの最小設定数(min)より大きいかが判断される(ステップS21)。入力された環境地図内のランドマーク数が最小設定数(min)より大きい場合(ステップS21: YES)、ランドマークの個数が前回と変化したか否かが判定され(ステップS22)、前回とランドマークの個数が増えている場合(ステップS22: YES)は、その環境地図を環境地図データベース406に登録されている環境地図群と比較し、入力された環境地図に類似した環境地図を探す(ステップS23)。そして、類似した環境地図が一つである場合(ステップS24: YES)、環境IDとしてステップS24で適合した環境地図の環境IDを代入する(ステップS25)。

【0090】

一方、ステップS24にて、類似した環境地図が1つでない場合、類似した環境地図が複数あるか否かが判定され(ステップS27)、ステップS27にて複数ある場合は、環境IDとして曖昧(ambiguous)を代入する(ステップS28)。一方、ステップS27にて、一致した環境地図が複数存在しない場合、即ち、類似した環境地図が一つもなかった場合には、環境IDとして不明(unknown)を代入する(ステップS29)。

【0091】

また、ステップS21において、入力された環境地図内のランドマーク数がランドマークの最小設定数(min)より少ない場合(ステップS21: NO)にも、ステップS29に進み、環境IDとして不明(unknown)を代入する。

【0092】

また、ステップS21において、入力された環境地図内のランドマーク数が最小設定数よりも大きい場合でも、ステップS22において、ランドマークの数が

前回と変化していないと判定された場合（ステップS21：YES，ステップS22：NO）は、入力された環境地図が変化しているか否か、即ち、ランドマークの位置が変化しているか否かを判定し（ステップS26）、変化している場合（ステップS26：YES）には、ステップS23に進み環境地図のマッチングを行う。一方、環境地図が変化していない場合（ステップS26：NO）には、ステップS30へ進む。

【0093】

ステップS30では、探索行動中か否かと前回の環境IDが不明（unknown）であったか否かを判断する。探索行動中が終了しており、且つ、前回の環境IDが不明（unknown）であった場合（ステップS30：YES）、入力された環境地図に対する新しい環境IDと併せて環境地図データベース406に登録し（ステップS31）、環境IDには新しく登録した環境IDを代入する（ステップS32）。一方、ステップS31において、探索行動中であったり、前回の環境IDが不明（unknown）でなかったりした場合は、環境IDとして、前回の環境IDを代入する（ステップS33）。

【0094】

そして、最後に、ステップS25、ステップS28、ステップS29、ステップS32、又はステップS33にて代入された環境IDを出力する。ステップS21及びステップS22の条件分岐は、入力された環境地図が前回と変化していない場合に、ステップS24の環境地図のマッチング処理をする手間を省くためである。

【0095】

また、ステップS30では、後述する環境探索行動部405がロボット装置の探索行動状態の状態を管理し、環境探索行動部405により、ランドマークの探索行動が終了した場合に立てられる探索終了フラグにより探索終了か否かを判定する。

【0096】

2-3-1. 類似性の評価方法

次に、ステップS24の処理において、データベースの環境地図と入力された

環境地図の類似性を評価する方法について述べる。

【0097】

本実施の形態においては、環境地図間の類似性を数値化するために、マハラノビス (Mahalanobis) 距離 W を用いた。マハラノビス距離とは、2つの正規分布 X 、 Y 間の距離を下記式 (23) で定義したものである。最小マハラノビス距離 W をマッチング誤差として使用し、この最小マハラノビス距離 W が所定の閾値以下であるか否かにより、類似性を判定することができる。下記 (23) において、 r がマハラノビス距離を示す。

【0098】

【数16】

$$r^2 = (X - Y)^T \Sigma^{-1} (X - Y) \quad \dots (23)$$

【0099】

ここで、二つの環境地図 (MAP1, MAP2) を下記 (24), (25) のように表すときの2つの環境地図間の距離 (マッチング誤差) W を上記式 (23) により求める。

【0100】

【数17】

$$(i, \Sigma): \text{MAP1} \quad \dots (24)$$

$$(i', \Sigma'): \text{MAP2} \quad \dots (25)$$

【0101】

環境地図のワールド基準系の座標は、地図毎に異なるため、これらの二つの分布の間には、互いに回転、併進移動の自由度が存在する。従って、MAP1の座標系と、MAP2の座標系との回転移動 (回転角) を ω 、併進移動を T とすると、MAP1におけるMAP2は、下記式 (26), (27) と表すことができる

【0102】

【数18】

$$\hat{t}' = R(\omega)\hat{t}' + T$$

... (26)

$$\Sigma_i' = \Sigma_i + R(\omega)\Sigma_i'R(\omega)^T$$

... (27)

【0103】

これを、上記式(23)に代入すると、MAP1, MAP2間の距離(マッチング誤差)Wは、下記式(28)となる。

【0104】

【数19】

$$W = (\hat{t}_i - \hat{t}_i')^T \Sigma_i^{-1} (\hat{t}_i - \hat{t}_i') \\ - (\hat{t}_i - (R(\omega)\hat{t}' + T))^T (\Sigma_i + R(\omega)\Sigma_i'R(\omega)^T)^{-1} (\hat{t}_i - (R(\omega)\hat{t}' + T)) \quad \dots (28)$$

【0105】

マッチング誤差Wを求めるためには、最終的にはマッチング誤差Wを最小にする回転角 ω 、併進移動Tを求める必要がある。これは、非常に困難な問題であるが、仮に、共分散値が一定である、即ち下記式(29)を仮定すると、上記式(28)は下記式(30)で近似でき、容易に解くことができる。これにより、最小となるマハラノビス距離Wを求め、上述のステップS23のマッチングにおけるマッチング誤差として使用し、マッチング誤差Wが所定の閾値以下である場合に、一致であると判定する。

【0106】

【数 2.0】

$$\Sigma_i = cl$$

... (29)

$$\omega = \tan^{-1} \frac{S_{xy} - S_{yx}}{S_{xx} + S_{yy}}$$

$$T = \bar{l}' - R(\omega)\bar{l}$$

$$\bar{l} = \frac{1}{n} \sum_i l_i$$

$$\bar{l}' = \frac{1}{n} \sum_i l'_i$$

$$\begin{pmatrix} S_{xx} & S_{xy} \\ S_{yx} & S_{yy} \end{pmatrix} = \sum_i (l_i - \bar{l})(l'_i - \bar{l}')^T$$

... (30)

【0107】

2-4. 環境記憶部 (Database of Environment)

次に、環境地図記憶部403について説明する。環境地図記憶部403では、環境地図構築部402が出力する環境地図に環境IDを割り当てて、これらをセットにして記憶する。環境IDには、図17に示すように、各環境（例えば、Env1～Env3）に対して、重複しない正の整数（例えば1～3）を設定する。

【0108】

また、数字で表される環境IDに対して、「タロウの部屋」、「花子の部屋」、「トイレ」（W. C.）、「台所」といった環境名を付与することもできる。環境名は、ロボット装置とユーザとの対話等によって獲得する。以下にロボット装置とユーザとの対話例を示す。

対話例：

ロボット装置：「この名前を教えてください」

ユーザ：「ここは、タロウの部屋、だよ」

ロボット装置：「わかった。タロウの部屋、だね」

環境地図及び環境IDは、電源を切っても記憶しておく必要があるため、ロボット装置本体のフラッシュメモリにファイルとして保存しておき、再起動時には、このファイルを読み出すことによって、環境地図データを復元する。また、こ

これらの環境地図は、すべてロボット装置が動的に獲得したものである必要はなく、ユーザが他の手段で編集、又は登録してもよい。

【0109】

2-5. 環境探索部(Exploration/Robot Control)

次に、環境探索部405について説明する。環境探索部405では、環境地図を構築するために十分なランドマークを観測するために、ロボット装置の行動を制御しランドマークを探すとともに、上述したように、探索行動状態を通知する

【0110】

本実施の形態における環境同定方法においては、環境内の全てのランドマークを観測し終わるまでは、正確な環境同定をすることが難しい場合がある。従って、何らかの方法で、環境内の全てのランドマークを観測し終わったことを知る必要がある。環境内の全てのランドマークを観測し終わったことを知る方法としては、環境内に予め配置されるランドマークの個数を設定しておき、ロボット装置が設定された個数のランドマークを観測した時点で探索を終了する方法、所定の時間内環境内をランダムに移動させて全てのランドマークを観測させ、探索を終了する方法、所定の位置で360°回転することによりランドマークを観測して探索を終了する方法、現在観測しているランドマーク位置まで移動し、その位置で360°回転し、更に、その位置から観測されるランドマーク位置まで移動し、その位置で再び360°回転するというような動作を繰り返し、全てのランドマークを回るまで観測を続け探索を終了する方法、若しくはオペレータによりロボット装置をリモートコントロールして、全てのランドマークを観測させ探索を終了する方法、又はこれらの方法を組み合わせる等の方法がある。

【0111】

ここでは、ロボット装置とユーザとのやり取りにより探索終了を知る方法、環境内のランドマークの個数を予め設定しておく方法、及び発見したランドマーク全てを訪問する方法の3つの特徴的な例で実験を行った結果について説明する。

【0112】

2-5-1. ユーザによる指示対話

ロボット装置がユーザのリモートコントロールによる指示、又はロボット装置の意思によって環境内を動き回っている状況において、ユーザとの対話によって、環境内のランドマークをすべて観測し終わったことを認識する。

【0113】

ロボット装置とユーザとの対話によるシーケンス例を以下に示す。

対話例：

ロボット装置：「ランドマークは4つでいいの？」

ユーザ：「違うよ。ランドマークの数は、6個だよ。」

ロボット装置：「じゃあと2つだね。」

ユーザ：「そうだよ。」

ロボット装置：ランドマークを探しに行く。

【0114】

ロボット：「ランドマークは6つでいいの？」

ユーザ：「そうだよ。」

2-5-2. 環境内のランドマークの数を固定した場合

ある一つの環境内に存在するランドマークの数 N を固定し、ロボット装置は N 個のランドマークを発見するまでは、探索行動状態であるとする。ロボット装置の環境地図に含まれるランドマークの数が N 個以上になった場合、探索行動状態から抜け、探索終了フラグを立てる。

【0115】

2-5-3. ランドマーク探索行動

環境内のランドマークを可能な限り発見するために、発見した全てのランドマークを訪問して歩いていく。まず、環境内のある地点からスタートし、ランダムに歩き回り、そこで周りを360度見渡す。そこで発見したランドマークを訪問待ち行列とする。次に、訪問待ち行列から一つを選んで、そのランドマークまで歩いていき、ランドマークに到達したら訪問待ち行列からそのランドマークを削除し、ランドマーク付近で周りを全て見渡し、新しいランドマークを発見する。新しく発見されたランドマークは、訪問待ち行列に追加する。これを繰り返して、訪問待ち行列が空になるまでランドマークを訪問して歩く。他のどのランドマ

ークからも観測不可能なランドマークがない場合は、このような戦略で環境内の全てのランドマークを発見することができる。

【0116】

本実施の形態においては、ロボット装置は、形状及び／又は色等により異なる複数の人工的なランドマークが存在する一意に特定可能な環境内のランドマークを認識するランドマークセンサ（ランドマーク認識手段）、及びこのランドマークセンサによって獲得したランドマーク情報を記憶する記憶手段、ロボット装置自身の行動を記憶する行動記憶手段を有しており、ランドマークセンサと行動記憶装置とから幾何的な環境地図を構築することができる。

【0117】

また、ロボット装置は、ランドマークの観測に基づき構築した現在の環境地図Nと、環境地図記憶部403に記憶された既知の環境地図群とを比較することによって、ロボット装置が現在置かれている環境を同定することができる。既知の環境地図は、ユーザが作成して環境地図記憶部403に供給してもよいし、ロボット装置自身によって学習されたものであってもよい。即知の環境地図は個々のランドマークの位置(x, y)を有しており、環境地図の比較は、現在観測している現在の環境地図におけるランドマークの位置と、既知の環境地図におけるランドマークの位置とを比較し、それらの類似性を評価することにより行うことができる。

【0118】

更に、ロボット装置は、環境探索部405により、環境を探索し、探索が終了したことを告げるロボット制御手法により環境地図を構築し、この環境地図と、記憶装置に保存されている環境地図との類似度を出力して、類似度がある閾値を超えた環境地図の環境IDを出力することにより環境を同定すると共に、探索が終了し、データベースに類似する環境地図がない場合には、新しい環境地図と環境IDを環境地図記憶部403に追加することができる。

【0119】

更にまた、このように、一意に特定可能な複数の分割した環境地図を有することによって、ロボットが物理的に離れた複数の環境（例えば、物理的に距離が離

れた場所にある部屋Aと部屋B)を素早く識別することができ、環境全てを大きな環境地図によって保持する手法に比べて、計算負荷が少なく、ランドマーク又はロボット装置の動きを観測した際の、環境地図の更新時の計算量も少なくてよい。更に、物理的に離れた場所にある場所Aと場所Bを違う環境地図Map A, Map Bとして記憶するため、それらの場所の相対的な位置関係には関知なくてよい。また、全てのランドマークを認識しなくても、ある程度の情報から現在の環境を同定することができる。このように、各環境毎に一つの環境地図を構築し、記憶手段に登録された環境地図群との比較をダイナミックに行うことにより、素早く、現在の環境を同定することができ、各々の環境での自己位置同定を行うことができる。

【0120】

3. ロボット装置の詳細

3-1. ソフトウェア

次に、上述した図4に示したロボット装置1が行動を決定するためのソフトウェアの構成及び動作について詳細に説明する。図18は、図4に示すソフトウェア300の動作を示すフローチャートである。

【0121】

図4に示すソフトウェア300のキネマティックオドメトリKINE310には、上述したように、画像データ301及びセンサデータ302が入力される。この画像データ301は、カラー画像及びステレオカメラによる視差画像である。また、センサデータは、ロボット装置の関節角等のデータである。キネマティックオドメトリKINE310は、これらの入力データ301, 302を受け取り、メモリに格納されていたそれまでの画像及びセンサデータを更新する(ステップS101)。

【0122】

次に、これら画像データ301とセンサデータ302との時間的な対応を取る(ステップS102-1)。即ち、画像データ301の画像が撮像された時間におけるセンサデータ302の関節角を割り出す。次いで、この関節角のデータを使用してロボット装置1が中心に固定されたロボット中心座標系を頭部ユニット

に設けられたカメラの座標系へ変換する（ステップS102-2）。この場合、本実施の形態においては、ロボット中心座標系からカメラ座標系の同時変換行列等を導出し、この同時変換行列311とこれに対応する画像データとを画像認識を行うオブジェクトへ送信する。即ち、同時変換行列311及びこれに対応する視差画像312を平面抽出部PLEX320へ出力し、同時変換行列311及びカラー画像313をランドマークセンサ部CLS340へ出力する。

【0123】

また、センサデータ302から得られる歩行パラメータと、足底センサを使用した歩数のカウント数とからロボット装置1の移動量を算出し、ロボット装置1のロボット装置中心座標系における移動量を算出する。以下、ロボット装置中心座標系の移動量をオドメトリともいう。このオドメトリ314を障害物グリッド算出部OG330及び絶対座標算出部LZ350へ出力する。

【0124】

平面抽出部PLEX320は、キネマティックオドメトリKINE310にて算出された同時変換行列311と、これに対応するステレオカメラから得られる視差画像312とが入力されると、それまでメモリに格納されていたこれらのデータを更新する（ステップS103）。そして、ステレオカメラのキャリブレーションパラメータ等を使用して視差画像312から3次元の位置データ（レンジデータ）を算出する（ステップS104-1）。次いで、このレンジデータからハフ変換等を使用して、例えば壁及びテーブル等の平面を除く平面を平面として抽出する。また、座標変換行列311からロボット装置1の足底が接地している平面との対応を取り、床面を選択し、床面上にない点、例えば所定の閾値よりも高い位置にあるもの等を障害物として床面からの距離を算出し、この障害物情報（obstacle）321を障害物グリッド算出部330に出力する（ステップS104-2）。

【0125】

障害物グリッド算出部OG330では、上述したように、キネマティックオドメトリKINE310にて算出されたオドメトリ314と、平面抽出部PLEX320にて算出された障害物の観測情報（障害物情報）321とが入力されると

、メモリに格納されていたそれまでのデータを更新する（ステップS105）。そして、床面上に障害物があるか否かの確率を保持する障害物グリッドを確率的手法により更新する（ステップS106）。

【0126】

この障害物グリッド算出部OG330は、ロボット装置1を中心とした例えば周囲4mの障害物情報（環境地図）と、ロボット装置1の向く方向を示す姿勢情報とを保持しており、確率的手法により環境地図を更新し、この更新した認識結果（障害物情報331）を出力することにより、上位レイヤ、即ち、本実施の形態においては、経路計画決定部SBL360にて障害物を回避する計画を作成することができる。

【0127】

ランドマークセンサCLS340は、キネマティックオドメトリKINE310から同時変換行列311及びカラー画像313が入力されると、予めメモリ内に格納されていたこれらのデータを更新する（ステップS107）。そして、カラー画像313の画像処理を行って、予め認識しているカラーランドマークを検出する。このカラーランドマークのカラー画像313上での位置及び大きさをカメラ座標系での位置に変換する。更に、同時変換行列311を使用し、カラーランドマークのカメラ座標系での位置をロボット中心位置座標系における位置に変換し、ロボット中心位置座標系におけるカラーランドマーク位置の情報（カラーランドマーク相対位置情報）341を絶対座標算出部LZ350に出力する（ステップS108）。

【0128】

絶対座標算出部LZ350は、キネマティックオドメトリKINE310からのオドメトリ314と、ランドマークセンサ部CLS340からのカラーランドマーク相対位置情報341とが入力されると、予めメモリ内に格納されていたこれらのデータが更新される（ステップS109）。そして、絶対座標算出部LZ350が予め認識しているカラーランドマークの絶対座標（ワールド座標系での位置）、カラーランドマーク相対位置情報341、及びオドメトリ314を使用し、確率的手法によりロボット装置の絶対座標（ワールド座標系での位置）を算

出する。そして、この絶対座標位置351を経路計画決定部SBL360に出力する。

【0129】

経路計画決定部SBL360は、障害物グリッド算出部OG330から障害物グリッド情報331が入力され、絶対座標算出部LZ350から絶対座標位置351が入力されると、予めメモリに格納されていたこれらのデータが更新される(ステップS111)。そして、経路計画決定部SBL360は、障害物グリッド算出部OG330からの障害物情報331により、ロボット装置1の周囲に存在する障害物に関する認識結果を取得し、絶対座標算出部LZ350から現在のロボット装置1の絶対座標を取得することにより、絶対座標系又はロボット装置中心のロボット中心座標系で与えられた目標地点に対して障害物に衝突せずに歩行可能な経路を生成し、経路に応じて経路を遂行する動作コマンドを発行する。即ち、入力データから状況に応じてロボット装置1が取るべき行動を決定し、その行動列を出力する(ステップS112)。

【0130】

また、人間によるナビゲーションの場合には、障害物グリッド算出部OG330からロボット装置の周囲に存在する障害物に関する認識結果及び絶対座標算出部LZ350からの現在のロボット装置の位置の絶対座標をユーザに提供し、このユーザからの入力に応じて動作コマンドを発行させる。

【0131】

図19は、上述のソフトウェアに入力されるデータの流れを模式的に示す図である。なお、図19において、図3及び図4に示す構成と同一構成要素には同一符号を伏してその詳細な説明は省略する。

【0132】

顔検出部FDT(Face Detector)371は、画像フレーム中から顔領域を検出するオブジェクトであり、カメラ等の画像入力装置からカラー画像202を受け取り、それを例えば9段階のスケール画像に縮小変換する。この全ての画像の中から顔に相当する矩形領域を探索する。重なりあった候補領域を削減して最終的に顔と判断された領域に関する位置、大きさ、及び特徴量等の情報

372を出力して、顔識別部FI (FaceIdentify) 377へ送る。

【0133】

顔識別部FI 377は、検出された顔画像を識別するオブジェクトであり、顔の領域を示す矩形領域画像からなる情報372を顔検出部FDT 371から受け取り、この顔画像がメモリに格納されている手持ちの人物辞書のうちでどの人物に相当するかを比較して人物の識別を行う。そして、顔検出部FDT 371から受け取った顔画像の顔画像領域の位置、大きさ情報と共に人物のID情報378をDIL 379に出力する。

【0134】

色認識部MCT (MultiColorTracker) 373は、色認識を行うオブジェクトであり、カメラ等の画像入力装置からカラー画像202を受け取り、予め保有している複数のカラー・モデル情報に基づいて色領域を抽出し、連続した領域に分割する。色認識部MCT 373は、分割した各領域の位置、大きさ及び特徴量等の情報374を距離情報付加部DIL (Distance Information Linker) 379に出力する。

【0135】

動き検出部MDT (MotionDetector) 375は、画像の中で動いている部分を検出するオブジェクトであり、検出した動き領域の情報376を挙値情報付加部DIL 379に出力する。

【0136】

距離情報付加部DIL 379は、入力された2次元の情報に距離情報を付加して3次元の情報を出力するオブジェクトであり、顔検出部FI 377からのID情報378、色認識部MCT 373からの分割した各領域の位置、大きさ及び特徴量等の情報374並びに動き検出部MDT 375からの動き領域の情報376に距離情報を付加して3次元情報380を短期記憶部STM (Short Term Memory) 381に出力する。

【0137】

短期記憶部STM 381は、ロボット装置1の外部環境に関する情報を比較的短い時間だけ保持するオブジェクトであり、ArthurDecoder (図示

せず)から音声認識結果(単語、音源方向、確信度)を受け取り、色認識部MC T373から肌色の領域の位置、大きさと顔領域の位置、大きさを受け取り、顔認識部FI377から人物のID情報等を受け取る。また、ロボット装置1の機体上の各センサからロボット装置の首の方向(関節角)を受け取る。そして、これらの認識結果及びセンサ出力を統合的に使って、現在どこにどの人物がいて、しゃべった言葉がどの人物のものであり、その人物とはこれまでにどんな対話を行ったのかという情報を保存する。こうした物体、即ちターゲットに関する物理情報と時間方向のみたイベント(履歴)を出力として、経路計画決定部(状況依存行動階層)(SBL)360等の上位モジュールに渡す。

【0138】

経路計画決定部SBLは、上述の短期記憶部STM381からの情報を基にロボット装置1の行動(状況に依存した行動)を決定するオブジェクトである。複数の行動を同時に評価したり、実行したりすることができる。また、行動を切り替えて機体をスリープ状態にしておき、別の行動を起動することができる。

【0139】

3-2. ロボット装置の構成

以下、本発明の実施の形態における上述した環境同定装置を搭載した図1に示すような2足歩行タイプのロボット装置について詳細に説明する。この人間型のロボット装置は、住環境その他の日常生活上の様々な場面における人的活動を支援する実用ロボットであり、内部状態(怒り、悲しみ、喜び、楽しみ等)に応じて行動できるほか、人間が行う基本的な動作を表出できるエンターテインメントロボットである。

【0140】

上述したように、図1に示すロボット装置1は、体幹部ユニット2の所定の位置に頭部ユニット3が連結されると共に、左右2つの腕部ユニット4R/Lと、左右2つの脚部ユニット5R/Lが連結されて構成されている。

【0141】

このロボット装置1が具備する関節自由度構成を図20に模式的に示す。頭部ユニット3を支持する首関節は、首関節三軸101と、首関節ピッチ軸102

と、首関節ロール軸103という3自由度を有している。

【0142】

また、上肢を構成する各々の腕部ユニット4R/Lは、肩関節ピッチ軸107と、肩関節ロール軸108と、上腕ヨー軸109と、肘関節ピッチ軸110と、前腕ヨー軸111と、手首関節ピッチ軸112と、手首関節ロール軸113と、手部114とで構成される。手部114は、実際には、複数本の指を含む多関節・多自由度構造体である。ただし、手部114の動作は、ロボット装置1の姿勢制御や歩行制御に対する寄与や影響が少ないので、本明細書ではゼロ自由度と仮定する。したがって、各腕部は7自由度を有するとする。

【0143】

また、体幹部ユニット2は、体幹ピッチ軸104と、体幹ロール軸105と、体幹ヨー軸106という3自由度を有する。

【0144】

また、下肢を構成する各々の脚部ユニット5R/Lは、股関節ヨー軸115と、股関節ピッチ軸116と、股関節ロール軸117と、膝関節ピッチ軸118と、足首関節ピッチ軸119と、足首関節ロール軸120と、足部121とで構成される。本明細書中では、股関節ピッチ軸116と股関節ロール軸117の交点は、ロボット装置1の股関節位置を定義する。人体の足部121は、実際には多関節・多自由度の足底を含んだ構造体であるが、ロボット装置1の足底は、ゼロ自由度とする。したがって、各脚部は、6自由度で構成される。

【0145】

以上を総括すれば、ロボット装置1全体としては、合計で $3+7\times 2+3+6\times 2=32$ 自由度を有することになる。ただし、エンターテインメント向けのロボット装置1が必ずしも32自由度に限定されるわけではない。設計・制作上の制約条件や要求仕様等に応じて、自由度、即ち関節数を適宜増減することができることはいうまでもない。

【0146】

上述したようなロボット装置1がもつ各自由度は、実際にはアクチュエータを用いて実装される。外観上で余分な膨らみを排してヒトの自然体形状に近似させ

ること、2足歩行という不安定構造体に対して姿勢制御を行うことなどの要請から、アクチュエータは小型且つ軽量であることが好ましい。

【0147】

図21には、ロボット装置1の制御システム構成を模式的に示している。同図に示すように、ロボット装置1は、ヒトの四肢を表現した体幹部ユニット2、頭部ユニット3、腕部ユニット4R/L、脚部ユニット5R/Lと、各ユニット間の協調動作を実現するための適応制御を行う制御ユニット10とで構成される。

【0148】

ロボット装置1全体の動作は、制御ユニット10によって統括的に制御される。制御ユニット10は、CPU (Central Processing Unit) や、DRAM、フラッシュROM等の主要回路コンポーネント (図示しない) で構成される主制御部11と、電源回路やロボット装置1の各構成要素とのデータやコマンドの授受を行うインターフェイス (何れも図示しない) などを含んだ周辺回路12とで構成される。

【0149】

本発明を実現するうえで、この制御ユニット10の設置場所は、特に限定されない。図21では体幹部ユニット2に搭載されているが、頭部ユニット3に搭載してもよい。あるいは、ロボット装置1外に制御ユニット10を配備して、ロボット装置1の機体とは有線又は無線で交信するようにしてもよい。

【0150】

図20に示したロボット装置1内の各関節自由度は、それぞれに対応するアクチュエータによって実現される。即ち、頭部ユニット3には、首関節ヨー軸101、首関節ピッチ軸102、首関節ロール軸103の各々を表現する首関節ヨー軸アクチュエータA₂、首関節ピッチ軸アクチュエータA₃、首関節ロール軸アクチュエータA₄が配設されている。

【0151】

また、頭部ユニット3には、外部の状況を撮像するためのCCD (Charge Coupled Device) カメラが設けられているほか、前方に位置する物体までの距離を測定するための距離センサ、外部音を集音するためのマイク、音声を出力するた

めのスピーカ、ユーザからの「撫でる」や「叩く」といった物理的な働きかけにより受けた圧力を検出するためのタッチセンサ等が配設されている。

【0152】

また、体幹部ユニット2には、体幹ピッチ軸104、体幹ロール軸105、体幹ヨー軸106の各々を表現する体幹ピッチ軸アクチュエータA₅、体幹ロール軸アクチュエータA₆、体幹ヨー軸アクチュエータA₇が配設されている。また、体幹部ユニット2には、このロボット装置1の起動電源となるバッテリーを備えている。このバッテリーは、充放電可能な電池によって構成されている。

【0153】

また、腕部ユニット4R/Lは、上腕ユニット4₁R/Lと、肘関節ユニット4₂R/Lと、前腕ユニット4₃R/Lに細分化されるが、肩関節ピッチ軸107、肩関節ロール軸108、上腕ヨー軸109、肘関節ピッチ軸110、前腕ヨー軸111、手首関節ピッチ軸112、手首関節ロール軸113の各々を表現する肩関節ピッチ軸アクチュエータA₈、肩関節ロール軸アクチュエータA₉、上腕ヨー軸アクチュエータA₁₀、肘関節ピッチ軸アクチュエータA₁₁、肘関節ロール軸アクチュエータA₁₂、手首関節ピッチ軸アクチュエータA₁₃、手首関節ロール軸アクチュエータA₁₄が配備されている。

【0154】

また、脚部ユニット5R/Lは、大腿部ユニット5₁R/Lと、膝ユニット5₂R/Lと、脛部ユニット5₃R/Lに細分化されるが、股関節ヨー軸115、股関節ピッチ軸116、股関節ロール軸117、膝関節ピッチ軸118、足首関節ピッチ軸119、足首関節ロール軸120の各々を表現する股関節ヨー軸アクチュエータA₁₆、股関節ピッチ軸アクチュエータA₁₇、股関節ロール軸アクチュエータA₁₈、膝関節ピッチ軸アクチュエータA₁₉、足首関節ピッチ軸アクチュエータA₂₀、足首関節ロール軸アクチュエータA₂₁が配備されている。各関節に用いられるアクチュエータA₂、A₃…は、より好ましくは、ギア直結型で且つサーボ制御系をワンチップ化してモータ・ユニット内に搭載したタイプの小型ACサーボ・アクチュエータで構成することができる。

【0155】

体幹部ユニット2、頭部ユニット3、各腕部ユニット4R/L、各脚部ユニット5R/Lなどの各機構ユニット毎に、アクチュエータ駆動制御部の副制御部20、21、22R/L、23R/Lが配備されている。さらに、各脚部ユニット5R/Lの足底が着床したか否かを検出する接地確認センサ30R/Lを装着するとともに、体幹部ユニット2内には、姿勢を計測する姿勢センサ31を装備している。

【0156】

接地確認センサ30R/Lは、例えば足底に設置された近接センサ又はマイクロ・スイッチなどで構成される。また、姿勢センサ31は、例えば、加速度センサとジャイロ・センサの組み合わせによって構成される。

【0157】

接地確認センサ30R/Lの出力によって、歩行・走行などの動作期間中ににおいて、左右の各脚部が現在立脚又は遊脚何れの状態であるかを判別することができる。また、姿勢センサ31の出力により、体幹部分の傾きや姿勢を検出することができる。

【0158】

主制御部11は、各センサ30R/L、31の出力に応答して制御目標をダイナミックに補正することができる。より具体的には、副制御部20、21、22R/L、23R/Lの各々に対して適応的な制御を行い、ロボット装置1の上肢、体幹、及び下肢が協調して駆動する全身運動パターンを実現できる。

【0159】

ロボット装置1の機体上での全身運動は、足部運動、ZMP (Zero Moment Point) 軌道、体幹運動、上肢運動、腰部高さなどを設定するとともに、これらの設定内容にしたがった動作を指示するコマンドを各副制御部20、21、22R/L、23R/Lに転送する。そして、各々の副制御部20、21、・・・等では、主制御部11からの受信コマンドを解釈して、各アクチュエータA₂、A₃・・・等に対して駆動制御信号を出力する。ここでいう「ZMP」とは、歩行中の床反力によるモーメントがゼロとなる床面上の点のことであり、また、「ZMP軌道」とは、例えばロボット装置1の歩行動作期間中にZMPが動く軌跡を意

味する。なお、ZMPの概念並びにZMPを歩行ロボットの安定度判別規範に適用する点については、Miomir Vukobratovic著“LEGGED LOCOMOTION ROBOTS”（加藤一郎外著『歩行ロボットと人工の足』（日刊工業新聞社））に記載されている。

【0160】

以上のように、ロボット装置1は、各々の副制御部20, 21, ...等が、主制御部11からの受信コマンドを解釈して、各アクチュエータA₂, A₃...に対して駆動制御信号を出力し、各ユニットの駆動を制御している。これにより、ロボット装置1は、目標の姿勢に安定して遷移し、安定した姿勢で歩行できる。

【0161】

また、ロボット装置1における制御ユニット10では、上述したような姿勢制御のほかに、加速度センサ、タッチセンサ、接地確認センサ等の各種センサ、及びCCDカメラからの画像情報、マイクからの音声情報等を統括して処理している。制御ユニット10では、図示しないが加速度センサ、ジャイロ・センサ、タッチセンサ、距離センサ、マイク、スピーカなどの各種センサ、各アクチュエータ、CCDカメラ及びバッテリーが各々対応するハブを介して主制御部11と接続されている。

【0162】

主制御部11は、上述の各センサから供給されるセンサデータや画像データ及び音声データを順次取り込み、これらをそれぞれ内部インターフェイスを介してDRAM内の所定位置に順次格納する。また、主制御部11は、バッテリーから供給されるバッテリー残量を表すバッテリー残量データを順次取り込み、これをDRAM内の所定位置に格納する。DRAMに格納された各センサデータ、画像データ、音声データ及びバッテリー残量データは、主制御部11がこのロボット装置1の動作制御を行う際に利用される。

【0163】

主制御部11は、ロボット装置1の電源が投入された初期時、制御プログラムを読み出し、これをDRAMに格納する。また、主制御部11は、上述のように

主制御部 11 より DRAM に順次格納される各センサデータ、画像データ、音声データ及びバッテリー残量データに基づいて自己及び周囲の状況や、ユーザからの指示及び働きかけの有無などを判断する。

【0164】

さらに、主制御部 11 は、この判断結果及び DRAM に格納した制御プログラムに基づいて自己の状況に応じて行動を決定するとともに、当該決定結果に基づいて必要なアクチュエータを駆動させることによりロボット装置 1 に、いわゆる「身振り」、「手振り」といった行動をとらせる。

【0165】

このようにしてロボット装置 1 は、制御プログラムに基づいて自己及び周囲の状況を判断し、ユーザからの指示及び働きかけに応じて自律的に行動できる。

【0166】

ところで、このロボット装置 1 は、内部状態に応じて自律的に行動することができる。上述の図 4、図 18 及び図 19 に示したソフトウェアは、主にロボット装置が自律的に経路を生成するためのものである。以下では、ロボット装置 1 における制御プログラム全体のソフトウェア構成例について、図 22 乃至図 27 を用いて説明する。なお、この制御プログラムは、予め、ロボット装置内に設けられたフラッシュ ROM に格納されており、ロボット装置 1 の電源投入初期時において読み出される。

【0167】

図 22 において、デバイス・ドライバ・レイヤ 40 は、制御プログラムの最下位層に位置し、複数のデバイス・ドライバからなるデバイス・ドライバ・セット 41 から構成されている。この場合、各デバイス・ドライバは、CCD カメラやタイマ等の通常のコンピュータで用いられるハードウェアに直接アクセスすることを許されたオブジェクトであり、対応するハードウェアからの割り込みを受けて処理を行う。

【0168】

また、ロボティック・サーバ・オブジェクト 42 は、デバイス・ドライバ・レイヤ 40 の最下位層に位置し、例えば上述の各種センサやアクチュエータ 28₁

～28_n等のハードウェアにアクセスするためのインターフェイスを提供するソフトウェア群でなるバーチャル・ロボット43と、電源の切換えなどを管理するソフトウェア群でなるパワーマネージャ44と、他の種々のデバイス・ドライバを管理するソフトウェア群でなるデバイス・ドライバ・マネージャ45と、ロボット装置1の機構を管理するソフトウェア群でなるデザインド・ロボット46とから構成されている。

【0169】

マネージャ・オブジェクト47は、オブジェクト・マネージャ48及びサービス・マネージャ49から構成されている。オブジェクト・マネージャ48は、ロボティック・サーバ・オブジェクト42、ミドル・ウェア・レイヤ50、及びアプリケーション・レイヤ51に含まれる各ソフトウェア群の起動や終了を管理するソフトウェア群であり、サービス・マネージャ49は、メモ리카ードに格納されたコネクションファイルに記述されている各オブジェクト間の接続情報に基づいて各オブジェクトの接続を管理するソフトウェア群である。

【0170】

ミドル・ウェア・レイヤ50は、ロボティック・サーバ・オブジェクト42の上位層に位置し、画像処理や音声処理などのこのロボット装置1の基本的な機能を提供するソフトウェア群から構成されている。また、アプリケーション・レイヤ51は、ミドル・ウェア・レイヤ50の上位層に位置し、当該ミドル・ウェア・レイヤ50を構成する各ソフトウェア群によって処理された処理結果に基づいてロボット装置1の行動を決定するためのソフトウェア群から構成されている。

【0171】

なお、ミドル・ウェア・レイヤ50及びアプリケーション・レイヤ51の具体的なソフトウェア構成をそれぞれ図23に示す。

【0172】

ミドル・ウェア・レイヤ50は、図23に示すように、騒音検出用、温度検出用、明るさ検出用、音階認識用、距離検出用、姿勢検出用、タッチセンサ用、動き検出用及び色認識用の各信号処理モジュール60～68並びに入力セマンティクスコンバータモジュール69などを有する認識系70と、出力セマンティクス

コンバータモジュール78並びに姿勢管理用、トラッキング用、モーション再生用、歩行用、転倒復帰用、LED点灯用及び音再生用の各信号処理モジュール71～77などを有する出力系79とから構成されている。

【0173】

認識系70の各信号処理モジュール60～68は、ロボティック・サーバ・オブジェクト42のバーチャル・ロボット43によりDRAMから読み出される各センサデータや画像データ及び音声データのうちの対応するデータを取り込み、当該データに基づいて所定の処理を施して、処理結果を入力セマンティクスコンバータモジュール69に与える。ここで、例えば、バーチャル・ロボット43は、所定の通信規約によって、信号の授受或いは変換をする部分として構成されている。

【0174】

入力セマンティクスコンバータモジュール69は、これら各信号処理モジュール60～68から与えられる処理結果に基づいて、「うるさい」、「暑い」、「叩明るい」、「ボールを検出した」、「転倒を検出した」、「撫でられた」、「叩かれた」、「ドミソの音階が聞こえた」、「動く物体を検出した」又は「障害物を検出した」などの自己及び周囲の状況や、ユーザからの指令及び働きかけを認識し、認識結果をアプリケーション・レイヤ41に出力する。

【0175】

アプリケーション・レイヤ51は、図24に示すように、行動モデルライブラリ80、行動切換モジュール81、学習モジュール82、感情モデル83及び本能モデル84の5つのモジュールから構成されている。

【0176】

行動モデルライブラリ80には、図25に示すように、「バッテリー残量が少なくなった場合」、「転倒復帰する」、「障害物を回避する場合」、「感情を表現する場合」、「ボールを検出した場合」などの予め選択されたいくつかの条件項目にそれぞれ対応させて、それぞれ独立した行動モデルが設けられている。

【0177】

そして、これら行動モデルは、それぞれ入力セマンティクスコンバータモジュ

ール69から認識結果が与えられたときや、最後の認識結果が与えられてから一定時間が経過したときなどに、必要に応じて後述のように感情モデル83に保持されている対応する情動のパラメータ値や、本能モデル84に保持されている対応する欲求のパラメータ値を参照しながら続く行動をそれぞれ決定し、決定結果を行動切換モジュール81に出力する。

【0178】

なお、この実施の形態の場合、各行動モデルは、次の行動を決定する手法として、図26に示すような1つのノード(状態) $NODE_0 \sim NODE_n$ から他のどのノード $NODE_0 \sim NODE_n$ に遷移するかを各ノード $NODE_0 \sim NODE_n$ に間を接続するアーク $ARC_1 \sim ARC_n$ に対してそれぞれ設定された遷移確率 $P_1 \sim P_n$ に基づいて確率的に決定する有限確率オートマトンと呼ばれるアルゴリズムを用いる。

【0179】

具体的に、各行動モデルは、それぞれ自己の行動モデルを形成するノード $NODE_0 \sim NODE_n$ にそれぞれ対応させて、これらノード $NODE_0 \sim NODE_n$ 毎に図27に示すような状態遷移表90を有している。

【0180】

この状態遷移表90では、そのノード $NODE_0 \sim NODE_n$ において遷移条件とする入力イベント(認識結果)が「入力イベント名」の列に優先順に列記され、その遷移条件についてのさらなる条件が「データ名」及び「データ範囲」の列における対応する行に記述されている。

【0181】

したがって、図27の状態遷移表90で表されるノード $NODE_{100}$ では、「ボールを検出(BALL)」という認識結果が与えられた場合に、当該認識結果とともに与えられるそのボールの「大きさ(SIZE)」が「0から1000」の範囲であることや、「障害物を検出(OBSTACLE)」という認識結果が与えられた場合に、当該認識結果とともに与えられるその障害物までの「距離(DISTANCE)」が「0から100」の範囲であることが他のノードに遷移するための条件となっている。

【0182】

また、このノード $NODE_{100}$ では、認識結果の入力がない場合においても、行動モデルが周期的に参照する感情モデル83及び本能モデル84にそれぞれ保持された各情動及び各欲求のパラメータ値のうち、感情モデル83に保持された「喜び (Joy)」、「驚き (Surprise)」又は「悲しみ (Sadness)」の何れかのパラメータ値が「50から100」の範囲であるときには他のノードに遷移することができるようになっている。

【0183】

また、状態遷移表90では、「他のノードへの遷移確率」の欄における「遷移先ノード」の行にそのノード $NODE_0 \sim NODE_n$ から遷移できるノード名が列記されているとともに、「入力イベント名」、「データ名」及び「データの範囲」の列に記述された全ての条件が揃ったときに遷移できる他の各ノード $NODE_0 \sim NODE_n$ への遷移確率が「他のノードへの遷移確率」の欄内の対応する箇所にそれぞれ記述され、そのノード $NODE_0 \sim NODE_n$ に遷移する際に出力すべき行動が「他のノードへの遷移確率」の欄における「出力行動」の行に記述されている。なお、「他のノードへの遷移確率」の欄における各行の確率の和は100 [%]となっている。

【0184】

したがって、図27の状態遷移表90で表されるノード $NODE_{100}$ では、例えば「ボールを検出 (BAL) 」し、そのボールの「SIZE (大きさ) 」が「0から1000」の範囲であるという認識結果が与えられた場合には、「30 [%] 」の確率で「ノード $NODE_{120}$ (node 120) 」に遷移でき、そのとき「ACTION1」の行動が出力されることとなる。

【0185】

各行動モデルは、それぞれこのような状態遷移表90として記述されたノード $NODE_0 \sim NODE_n$ が幾つも繋がるようにして構成されており、入力セマンティクスコンバータモジュール69から認識結果が与えられたときなどに、対応するノード $NODE_0 \sim NODE_n$ の状態遷移表を利用して確率的に次の行動を決定し、決定結果を行動切換モジュール81に出力するようになされている。

【0186】

図25に示す行動切換モジュール81は、行動モデルライブラリ80の各行動モデルからそれぞれ出力される行動のうち、予め定められた優先順位の高い行動モデルから出力された行動を選択し、当該行動を実行すべき旨のコマンド（以下、行動コマンドという。）をミドル・ウェア・レイヤ50の出力セマンティクスコンバータモジュール78に送出する。なお、この実施の形態においては、図25において下側に表記された行動モデルほど優先順位が高く設定されている。

【0187】

また、行動切換モジュール81は、行動完了後に出力セマンティクスコンバータモジュール78から与えられる行動完了情報に基づいて、その行動が完了したことを学習モジュール82、感情モデル83及び本能モデル84に通知する。

【0188】

一方、学習モジュール82は、入力セマンティクスコンバータモジュール69から与えられる認識結果のうち、「叩かれた」や「撫でられた」など、ユーザからの働きかけとして受けた教示の認識結果を入力する。

【0189】

そして、学習モジュール82は、この認識結果及び行動切換えモジュール71からの通知に基づいて、「叩かれた（叱られた）」ときにはその行動の発現確率を低下させ、「撫でられた（誉められた）」ときにはその行動の発現確率を上昇させるように、行動モデルライブラリ70における対応する行動モデルの対応する遷移確率を変更する。

【0190】

他方、感情モデル83は、「喜び (Joy)」、「悲しみ (Sadness)」、「怒り (Anger)」、「驚き (Surprise)」、「嫌悪 (Disgust)」及び「恐れ (Fear)」の合計6つの情動について、各情動毎にその情動の強さを表すパラメータを保持している。そして、感情モデル83は、これら各情動のパラメータ値を、それぞれ入力セマンティクスコンバータモジュール69から与えられる「叩かれた」及び「撫でられた」などの特定の認識結果や、経過時間及び行動切換モジュール81からの通知などに基づいて周期的に更新する。

【0191】

具体的には、感情モデル83は、入力セマンティクスコンバータモジュール69から与えられる認識結果と、そのときのロボット装置1の行動と、前回更新しからの経過時間などに基づいて所定の演算式により算出されるそのときのその情動の変動量を $\Delta E[t]$ 、現在のその情動のパラメータ値を $E[t]$ 、その情動の感度を表す係数を k_e として、下記式(31)によって次の周期におけるその情動のパラメータ値 $E[t+1]$ を算出し、これを現在のその情動のパラメータ値 $E[t]$ と置き換えるようにしてその情動のパラメータ値を更新する。また、感情モデル83は、これと同様にして全ての情動のパラメータ値をにより更新する。

【0192】

【数21】

$$E[t+1] = E[t] + k_e \times \Delta E[t] \quad \dots (31)$$

【0193】

なお、各認識結果や出力セマンティクスコンバータモジュール78からの通知が各情動のパラメータ値の変動量 $\Delta E[t]$ にどの程度の影響を与えるかは予め決められており、例えば「叩かれた」といった認識結果は「怒り」の情動のパラメータ値の変動量 $\Delta E[t]$ に大きな影響を与え、「撫でられた」といった認識結果は「喜び」の情動のパラメータ値の変動量 $\Delta E[t]$ に大きな影響を与えるようになっている。

【0194】

ここで、出力セマンティクスコンバータモジュール78からの通知とは、いわゆる行動のフィードバック情報（行動完了情報）であり、行動の出現結果の情報であり、感情モデル83は、このような情報によっても感情を変化させる。これは、例えば、「叫ぶ」といった行動により怒りの感情レベルが下がるといったようなことである。なお、出力セマンティクスコンバータモジュール78からの通

知は、上述した学習モジュール82にも入力されており、学習モジュール82は、その通知に基づいて行動モデルの対応する遷移確率を変更する。

【0195】

なお、行動結果のフィードバックは、行動切換モジュール81の出力（感情が付加された行動）によりなされるものであってもよい。

【0196】

一方、本能モデル84は、「運動欲 (exercise)」、「愛情欲 (affection)」、「食欲 (appetite)」及び「好奇心 (curiosity)」の互いに独立した4つの欲求について、これら欲求毎にその欲求の強さを表すパラメータを保持している。そして、本能モデル84は、これらの欲求のパラメータ値を、それぞれ入力セマンティクスコンバータモジュール69から与えられる認識結果や、経過時間及び行動切換モジュール81からの通知などに基づいて周期的に更新する。

【0197】

具体的には、本能モデル84は、「運動欲」、「愛情欲」及び「好奇心」については、認識結果、経過時間及び出力セマンティクスコンバータモジュール78からの通知などに基づいて所定の演算式により算出されるそのときのその欲求の変動量を $\Delta I[k]$ 、現在のその欲求のパラメータ値を $I[k]$ 、その欲求の感度を表す係数 k_i として、所定周期で下記式(32)を用いて次の周期におけるその欲求のパラメータ値 $I[k+1]$ を算出し、この演算結果を現在のその欲求のパラメータ値 $I[k]$ と置き換えるようにしてその欲求のパラメータ値を更新する。また、本能モデル84は、これと同様にして「食欲」を除く各欲求のパラメータ値を更新する。

【0198】

【数22】

$$I[k+1] = I[k] + k_i \times \Delta I[k]$$

... (32)

【0199】

なお、認識結果及び出力セマンティクスコンバータモジュール78からの通知などが各欲求のパラメータ値の変動量 $\Delta I[k]$ にどの程度の影響を与えるかは予め決められており、例えば出力セマンティクスコンバータモジュール78からの通知は、「疲れ」のパラメータ値の変動量 $\Delta I[k]$ に大きな影響を与えるようになっている。

【0200】

なお、本実施の形態においては、各情動及び各欲求（本能）のパラメータ値がそれぞれ0から100までの範囲で変動するように規制されており、また係数 k_e 、 k_i の値も各情動及び各欲求毎に個別に設定されている。

【0201】

一方、ミドル・ウェア・レイヤ50の出力セマンティクスコンバータモジュール78は、図24に示すように、上述のようにしてアプリケーション・レイヤ51の行動切替モジュール81から与えられる「前進」、「喜ぶ」、「鳴く」又は「トラッキング（ボールを追いかける）」といった抽象的な行動コマンドを出力系79の対応する信号処理モジュール71～77に与える。

【0202】

そしてこれら信号処理モジュール71～77は、行動コマンドが与えられると当該行動コマンドに基づいて、その行動をするために対応するアクチュエータに与えるべきサーボ指令値や、スピーカから出力する音の音声データ及び又はLEDに与える駆動データを生成し、これらのデータをロボティック・サーバ・オブジェクト42のバーチャル・ロボット43及び信号処理回路を順次介して対応するアクチュエータ又はスピーカ又はLEDに順次送出する。

【0203】

このようにしてロボット装置1は、上述した制御プログラムに基づいて、自己（内部）及び周囲（外部）の状況や、ユーザからの指示及び働きかけに応じた自律的な行動ができる。

【0204】

このような制御プログラムは、ロボット装置が読取可能な形式で記録された記録媒体を介して提供される。制御プログラムを記録する記録媒体としては、磁気

読取方式の記録媒体（例えば、磁気テープ、フレキシブルディスク、磁気カード）、光学読取方式の記録媒体（例えば、CD-ROM、MO、CD-R、DVD）等が考えられる。記録媒体には、半導体メモリ（いわゆるメモ리카ード（矩形状、正方形など形状は問わない。）、ICカード）等の記憶媒体も含まれる。また、制御プログラムは、いわゆるインターネット等を介して提供されてもよい。

【0205】

これらの制御プログラムは、専用の読込ドライバ装置、又はパーソナルコンピュータ等を介して再生され、有線又は無線接続によってロボット装置1に伝送されて読み込まれる。また、ロボット装置1は、半導体メモリ、又はICカード等の小型化された記憶媒体のドライブ装置を備える場合、これら記憶媒体から制御プログラムを直接読み込むこともできる。

【0206】

【発明の効果】

以上詳細に説明したように、本発明に係る環境同定装置及びこれを搭載したロボット装置は、ランドマークが配置された環境内を移動体が移動して該環境を同定する環境同定装置であって、上記現在の環境内の上記ランドマークの観測結果及び上記移動体の移動状態量に基づき、1以上のランドマークにより一意に特定可能な環境の環境地図を構築する環境地図構築手段と、1以上のランドマークにより一意に特定可能な環境の環境地図が登録済環境地図として記憶された環境地図記憶手段と、上記環境地図記憶手段に記憶されている上記登録済環境地図と、上記環境地図構築手段により構築された現在の環境地図とを比較して、上記現在の環境が上記登録済環境地図が示す環境であるか否かを判定する環境同定手段とを有するので、現在の環境における環境地図を構築する場合、一意に特定可能な環境毎の環境地図を登録済環境地図と比較して同定する同定手段を有するため、環境内の全てのランドマークを認識しなくても、ある程度の情報から現在の環境を同定することができ、更に、全ての環境を一つの環境地図モデルで表現する手法に比べて、環境を一意に特定可能である範囲とし、これらの環境地図を記憶することにより、一つ一つの環境地図のデータ量が小さくてよいと共に、物理

的に離れた場所にある場所Aと場所Bとを異なる環境地図として記憶することにより、場所の相対的な位置関係を関知する必要がない。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の実施の形態におけるロボット装置の外観構成を示す図であって、ヒューマノイド型の2足歩行のロボット装置を示す斜視図である。

【図2】

本発明の実施の形態におけるロボット装置の外観構成を示す図であって、4足歩行の動物型ロボット装置を示す斜視図である。

【図3】

本発明の実施の形態に係るロボット装置の概略を示すブロック図である。

【図4】

本発明の実施の形態に係るロボット装置を動作するソフトウェアの構成を示す模式図である。

【図5】

本発明の実施の形態に係る環境同定システムを示すブロック図である。

【図6】

(a)は、ロボット装置が環境内を探索している様子を示す模式図、(b)は、本実施の形態におけるランドマークを示す模式図である。

【図7】

ランドマークの一例を示す模式図である。

【図8】

本発明の実施の形態に係る環境同定装置の環境同定方法を示すフローチャートである。

【図9】

ランドマークが配置された環境を示す模式図である。

【図10】

ロボット装置が自身の動きを考慮せずに構築した環境地図を示す模式図である。

【図11】

ロボット装置が自身の動きを考慮して構築した環境地図を示す模式図である。

【図12】

拡張カルマンフィルタモデルの模式図である。

【図13】

(a) 及び (b) は、夫々ロボット装置が自身の動作を観測した場合及びランドマークを観測した場合の環境地図を構築する方法を示すフローチャートである。

【図14】

ロボット装置が環境内を歩き回ってランドマークの位置を観測して構築した環境地図の一例を示す図である。

【図15】

同じく、ロボット装置が環境内を歩き回ってランドマークの位置を観測して構築した環境地図の一例を示す図である。

【図16】

本発明の実施の形態における環境同定部の環境同定方法を示すフローチャートである。

【図17】

本発明の実施の形態における環境記憶装置に記憶される環境IDを説明する図である。

【図18】

本発明の実施の形態におけるロボット装置のソフトウェアの動作を示すフローチャートである。

【図19】

同ソフトウェアに入力されるデータの流れを示す模式図である。

【図20】

本発明の実施の形態におけるロボット装置の自由度構成モデルを模式的に示す図である。

【図21】

同ロボット装置の回路構成を示すブロック図である。

【図22】

同ロボット装置のソフトウェア構成を示すブロック図である。

【図23】

同ロボット装置のソフトウェア構成におけるミドル・ウェア・レイヤの構成を示すブロック図である。

【図24】

同ロボット装置のソフトウェア構成におけるアプリケーション・レイヤの構成を示すブロック図である。

【図25】

アプリケーション・レイヤの行動モデルライブラリの構成を示すブロック図である。

【図26】

同ロボット装置の行動決定のための情報となる有限確率オートマトンを説明する図である。

【図27】

有限確率オートマトンの各ノードに用意された状態遷移表を示す図である。

【符号の説明】

1, 11 ロボット装置、3 頭部ユニット、4 R, 4 L 腕部ユニット、5 R, 5 L 脚部ユニット、12 胴体部ユニット、13 A, 13 B, 13 C, 13 D 脚部ユニット、14 頭部ユニット、15 尻尾部ユニット、200 R, 200 L CCDカメラ、201 R 右目画像、201 L 左目画像、202 カラー画像、203 視差画像、210 ステレオ画像処理装置、220 CPU、230 アクチュエータ、231 制御信号、240 センサ、241 センサデータ、260 体幹部、300 ソフトウェア、310 キネマティクスオドメトリKINE310、320 平面抽出部PLEX、330 障害物グリッド算出部OG、340 ランドマーク位置検出部CLS、350 絶対座標算出部LZ、360 行動決定部SBL、400 環境同定装置、402 環境地図構築部、403 環境地図記憶部、404 環境同定部、405 環境探

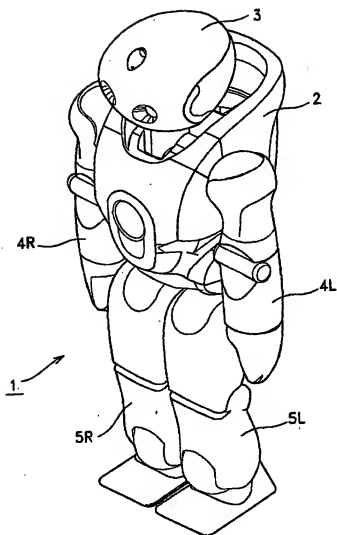
特2002-245614

索部、406環境地図データベース

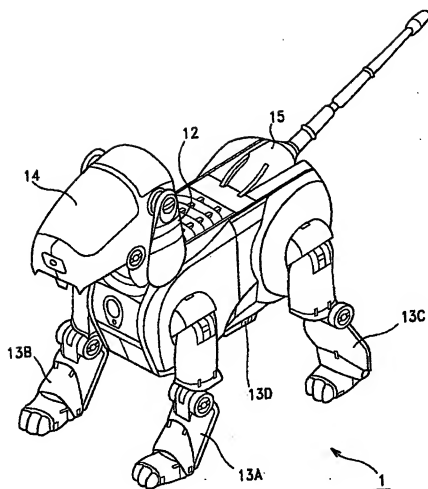
【書類名】

図面

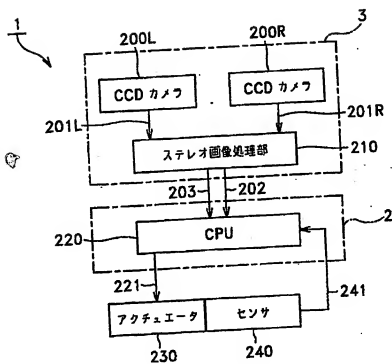
【図1】



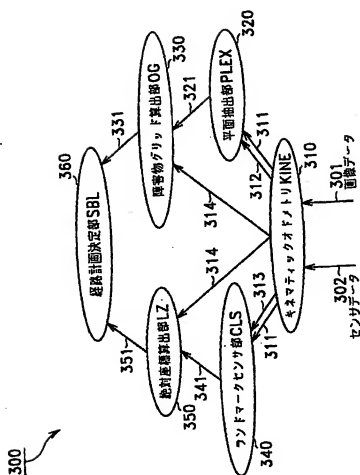
【図2】



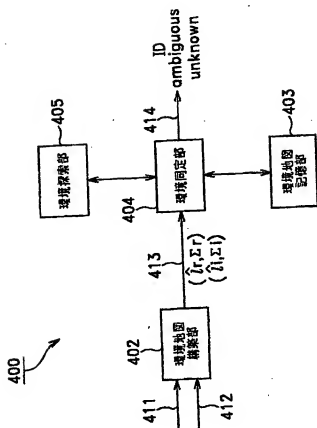
【図3】



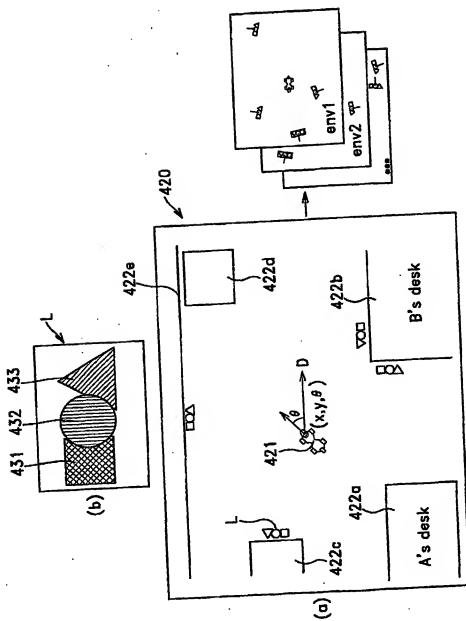
【図 4】



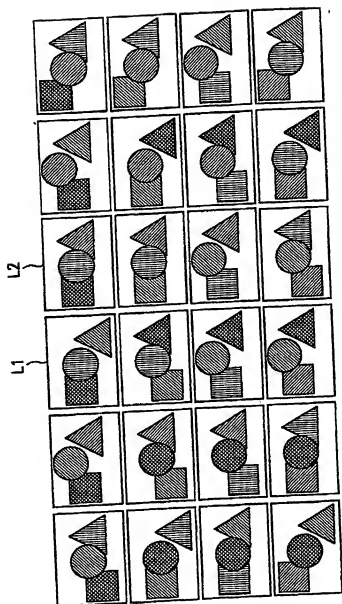
【图 5】



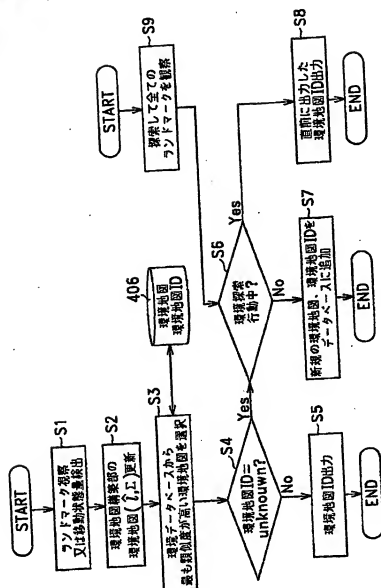
【図6】



【図7】



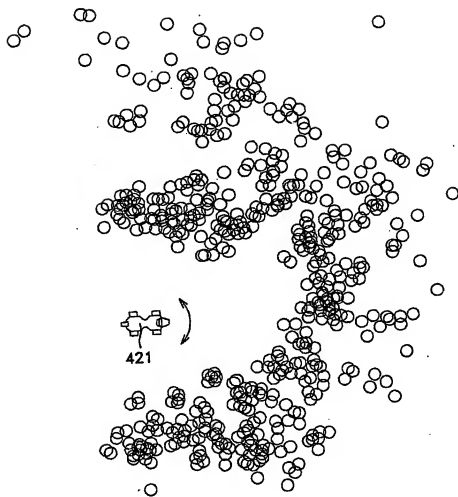
[図 8]



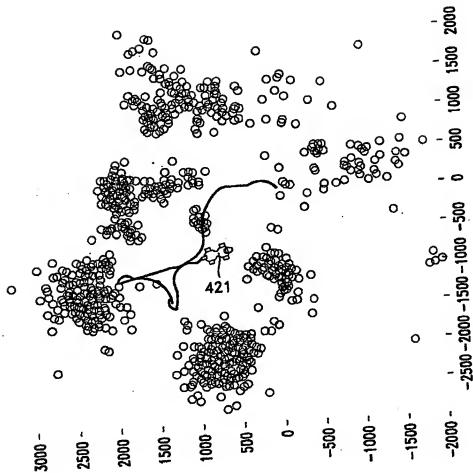
【図9】



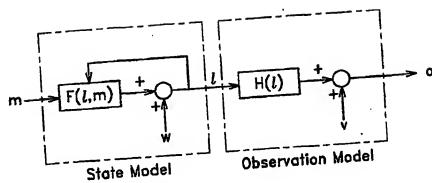
【図10】



〔図11〕



【図 1 2】



$$l \leftarrow F(l, m) + w$$

$$o \leftarrow H(l) + v$$

l : 状態

m : 入力

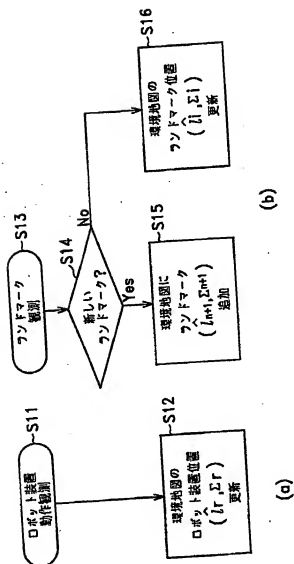
$F(l, m)$: 遷移関数

$H(l)$: 観測関数

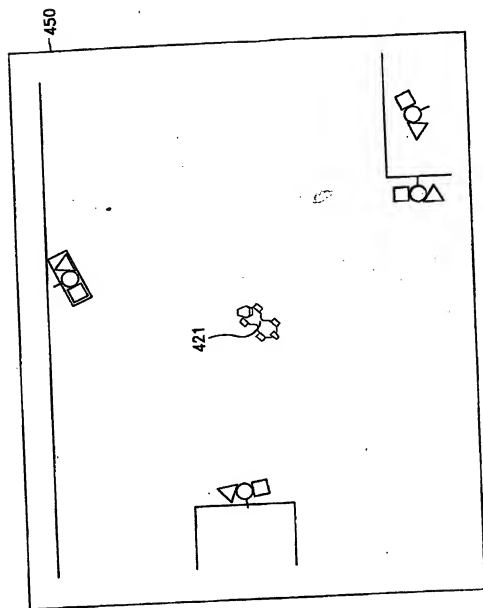
o : 観測情報

w, v : 状態 l , 観測情報 o のノイズ成分

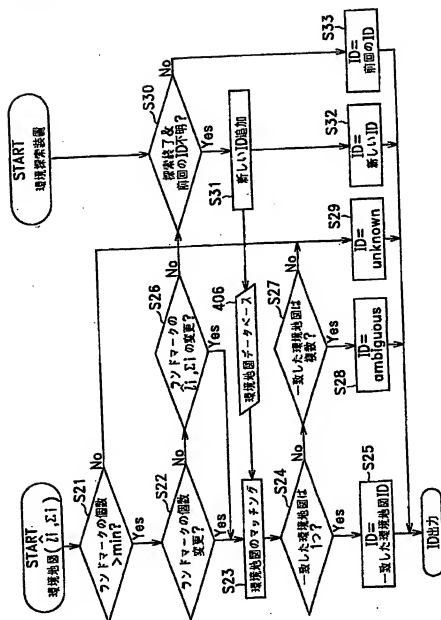
【図13】



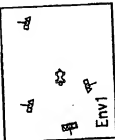
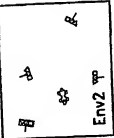
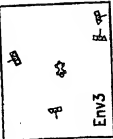
【図15】



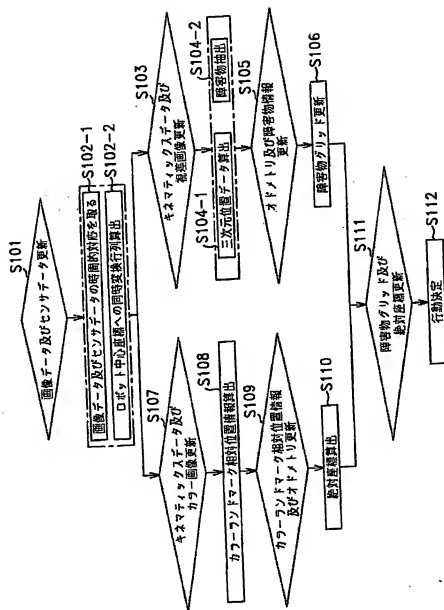
【図 16】



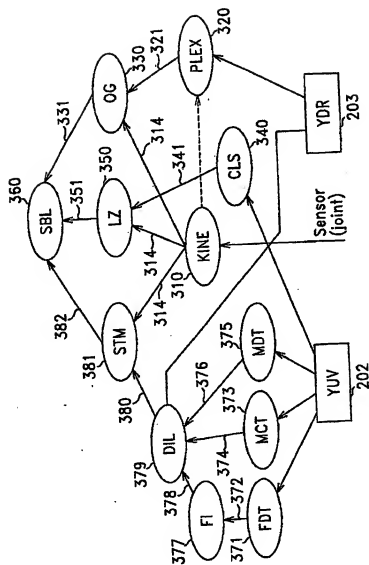
【图 17】

Environment	Environment Map	Environment ID	Environment Name
 <p>Env1</p>	Map1(I,Σ)	1	Taro's Room
 <p>Env2</p>	Map2(I,Σ)	2	Handako's Room
 <p>Env3</p>	Map3(I,Σ)	3	W.C.

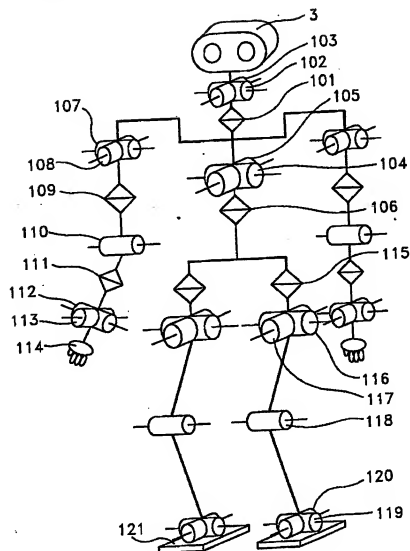
【図 18】



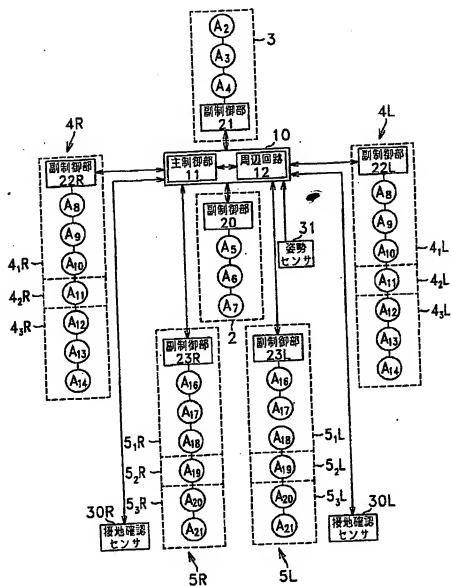
【図19】



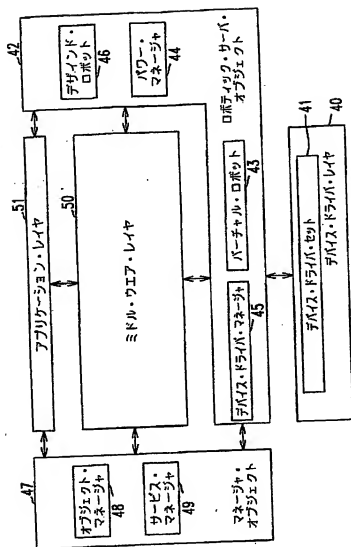
【図20】



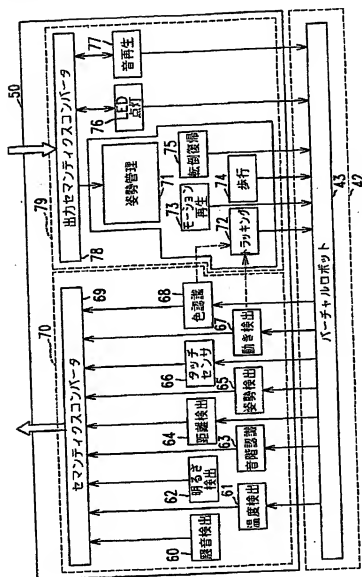
【図 21】



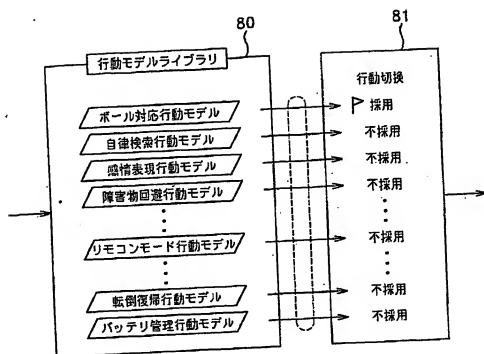
【図22】



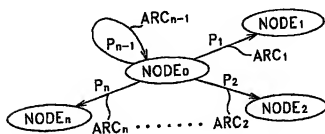
【図 23】



【図 25】



【図 26】



【図27】

ノード番号	ノード名	データ名	データ値	他のノードへの遷移確率			
				A	B	C	D
node 100	遷移先ノード			node 120	node 120	node 1000	node 600
出力行動				ACTION 1	ACTION 2	MOVE BACK	ACTION 4
1	BALL	SIZE	0.1000	30%	40%		
2	PAT				20%		
3	HIT					50%	
4	MOTION					100%	
5	OBSTACLE	DISTANCE	0.100				
6		JOY	50.100				
7		SURPRISE	50.100				
8		SADNESS	50.100				

90

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ロボット装置等の移動体における限られた計算リソース及びメモリリソースを考慮し、素早く現在の環境を同定することができ、各々の環境での自己位置同定を行う。

【解決手段】 環境同定装置400は、ランドマークが複数配置され、一意に特定可能な環境内を移動するロボット装置が複数の登録済の環境から現在の環境を同定するものであり、現在の環境内のランドマークを認識し、ロボット装置自身の移動状態量を算出し、このランドマーク及び移動状態量に基づいて現在の環境におけるランドマークの位置情報を有する現在の環境地図を構築する環境地図構築部402と、ランドマークの位置情報及び環境IDからなる登録済環境地図のデータベースを有する環境地図記憶部403と、登録済環境地図と現在の環境地図との類似度から現在の環境を同定する環境同定装置404と、新しい環境を探索する環境探索部405とから構成される。

【選択図】 図5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000002185]

1. 変更年月日

1990年 8月30日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都品川区北品川6丁目7番35号

氏 名

ソニー株式会社